Pest Management Regulatory Agency
Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire

Dir96-01

Regulatory Directive

Guidelines for Efficacy Assessment of Fungicides, Bactericides and Nematicides

Applicants for registration are required to provide efficacy data to support the proposed use of their products. The data must be assessed to ensure that the product is effective for its intended purposes. General principles for efficacy assessment of chemical pesticides have been published as Regulatory Directive Dir93-07a.

This Regulatory Directive provides specific guidelines for assessing efficacy of chemicals for control of plant diseases caused by fungi, bacteria, phytoplasmas and mycoplasma-like organisms, and nematodes.

The Directive is based on Regulatory Proposal Pro95-02, dated August 8, 1995, with only minor modifications arising from the public consultations.

(publié aussi en français)

March 15, 1996

This document is published by the Information Division, Pest Management Regulatory Agency. For further information, please contact:

Pest Management Regulatory Agency
Health Canada
2250 Riverside Drive
A.L. 6606D1
Ottawa, Ontario
K1A 0K9

Telephone: (613) 952-5330
Facsimile: (613) 736-3798
Information Service: 1-800-267-6315
(In Canada Only)
Internet: pmra_publications@hc-sc.gc.ca
www.hc-sc.gc.ca

Canada

101-04915/

Table of Contents

5.0 Fungicides, Bactericides and Nematicides

5.1 Introduction 1

5.1.1 How to Use this Document 1
5.1.2 Scope 1

5.2 General Aspects 2

5.2.1 Names and Terms 2
5.2.2 Label Claims for Plant Disease Control 2
5.2.3 Crop Development Stages 3
5.2.4 Non-Canadian Data 3
5.2.5 Interactions and Disease Complexes 3
5.2.6 Components of Efficacy 4
5.2.7 Pesticide Tolerance of Crops 4
5.2.8 Bridging Data and Comparability Tests 4

5.3 Test Procedures 5

5.3.1 Test Substances 5
5.3.2 Check Treatments and Representative Cultivars 5
5.3.3 Dosage 5
5.3.4 Selection of Trial Sites and Plot Sizes 6
5.3.5 Disease Pressure 6
5.3.6 Timing and Frequency of Applications and Pesticide Combinations 7
5.3.7 Pesticides Used with Fertilizers and Inoculants 9
5.3.8 Experimental Design 9

5.4 Evaluation of the Individual Trial 10

5.4.1 Validity of the Test 10
5.4.2 Statistical Analyses 11
5.4.3 Assessment of Pesticide Tolerance of Crops 12

5.5 Evaluation of the Pesticide 12

5.5.1 Comparisons of Different Trials 12
5.5.2 Report Format 13

5.6 Specific Use Patterns 13

5.6.1 General 13
5.6.2 Soil Treatments 15
5.6.3 Seed Treatments 18
5.6.4 Above-ground Treatments 21
5.6.5 Greenhouses and Other Enclosed Space Treatments 31
5.6.6 Postharvest Treatments 34

Table 1 Summary of Field Data Required 3 9

5.1 Introduction

This document is Part 5 of the *Guidelines for Efficacy Assessment of Chemical Pesticides* (1). These guidelines outline general principles for testing the efficacy of various types of pesticides. A thorough understanding of Parts 1 and 2 of the *Guidelines*, especially the Test Procedures outlined in Section 2.1, is essential to using Part 5.

Reference:

(1) Anon. 1993. Guidelines for efficacy assessment of chemical pesticides. Agric. Can., Food Prod. Inspection Br., Plant Industry Directorate Regulatory Directive 93-07a, April 5, 1993. 12pp.

5.1.1 How to Use this Document

It should be noted that these are guidelines, not regulations, and scientific judgement should be exercised in their use.

General considerations, including the applicability of foreign data, are covered in Section 5.2; test procedures are amplified in Section 5.3. Evaluations of data are divided into two sections: in Section 5.4 assessment of disease control and crop tolerance are considered on the basis of individual trials; and in Section 5.5 suggestions are made regarding comparisons of different trials and evaluating overall results. In the final Section 5.6, more specific use patterns are given, organized by major disease or crop types; users need consult only the patterns that relate to their crop.

It is recommended that this document be used at each major stage leading to an application for major use registration of a pesticide. At the start, it may be used to assess the quality and quantity of the database, domestic and foreign (Sections 5.2,5.4,5.5). It may be used in planning a program of testing aimed at developing a registration application package (Sections 5.2,5.3), and in assessing the validity and usefulness of new data (Sections 5.4,5.5). Finally, it may be used to prepare the report supporting an application.

5.1.2 Scope

This document provides guidelines for assessing efficacy of chemicals for control of plant diseases caused by fungi (fungicides), bacteria, phytoplasmas and mycoplasma-like organisms (bactericides), and nematodes (nematicides). The guidelines do not apply to biocontrol agents, microbial products, and viricides.

5.2 General Aspects

The basic reference for this document is *Methods for Evaluating Pesticides for Control of Plant Pathogens* (2) with joint American and Canadian authorship. Another reference containing much applicable information is *Manual for Field Trials in Plant Protection* (3).

References:

(2) Hickey, K.D. (ed.) 1986. Methods for evaluating pesticides for control of plant pathogens. APS Press, Amer. Phytopath. Soc. 312 pp.

(3) Muller, G. and F.J. Schwinn (eds.) 1992 (3rd ed.). Manual for field trials in plant protection. CIBA-Geigy Ltd., Basle, Switz. 271 pp. (available from CIBA-Geigy).

5.2.1 Names and Terms

Common names of diseases and host plants, and scientific names of their causal agents should conform to usage in the *Compendium of Plant Diseases and Decay Fungi in Canada, 1960-1980* (6), *Names of Plant Diseases in Canada* (4), and *Guide to Plant Pathogenic Bacteria* (5). For scientific names of pathogens both the genus and species names are given, except where several species in the same genus produce similar symptoms and damage, e.g., damping-off caused by *Pythium* spp.

Definitions of plant disease assessment terms are given by Nutter *et al.* (7,8).

References:

(4) Anon. 1992. Names of plant diseases in Canada. Que. Soc. Protection of Plants.

(5) Bradbury, J.F. 1986. Guide to plant pathogenic bacteria. C.A.B. international Mycol. Inst., Kew, U.K. 332 pp.

(6) Ginns, J.H. 1986. Compendium of plant disease and decay fungi in Canada 1960-1980. Publ. 1813, Res.Br., Agric. Can. 416 pp.

(7) Nutter, F.W. Jr., P.S. Teng, F.M. Shokes. 1991. Disease Assessment terms and concepts. Plant Dis. 75: 1187-1188.

(8) Nutter, F.W. Jr., P.S. Teng, M.H. Royer. 1993. Terms and concepts for yield, crop loss, and disease thresholds. Plant Dis. 77: 211-215.

5.2.2 Label Claims for Plant Disease Control

Each activity that the registrant wishes to put on the label as a claim must be supported by scientifically acceptable information. Label claims cannot be justified by anecdotal or testimonial evidence alone that a product is effective, although such evidence may be used to support scientific data.

To be considered for registration, the product should provide a level of disease control that would result in a demonstrated benefit to the user.

5.2.3 Crop Development Stages

Where crop development stages are given as part of the instructions for timing of chemical applications (see Section 5.3.6), standardized keys for growth stages should be used wherever possible. The new BBCH universal decimal code, jointly developed by BASF, BAYER, CIBA-Geigy and HOECHST (9), is strongly recommended. The BBCH scale provides a universal description of phenologically equivalent growth stages of crops, including woody plants and weeds; it was developed from Zadok's scale to apply to all crops, and for computer use.

For labelling, crop development stages should also be given in descriptive terms.

Reference:

(9) Lancashire, P.D., H. Bleiholder, T.v.d. Boom, P. Langeluddeke, R. Strauss, E. Weber, and A. Witzenberger. 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Ann. Appl. Biol. 119: 561-601.

N.B. The CIBA-Geigy Manual (3) also describes and illustrates this scale.

5.2.4 Non-Canadian Data

Where practicable, registration application packages should be based on original Canadian data. However, efficacy data from other countries may provide the starting point for testing a pesticide under Canadian conditions. Registrants should consult with the Product Manager for the number of Canadian trials required. Foreign data collected under conditions comparable to intended Canadian use situations which meet Canadian requirements may be used in support of Canadian registrations, particularly data from controlled environment studies.

5.2.5 Interactions and Disease Complexes

Some disease symptoms may be caused by more than one microorganism acting independently, or by two or more organisms acting in concert, by pathogens acting in sequence, e.g., damping-off, and by micro-organisms in seasonal sequences, e.g., crown rots of alfalfa. In other cases, a mild infection by one organism may either predispose a host to infection by another destructive pathogen, or, contrarily, may provide cross-protection against a second pathogen.

In all cases, label claims must specify, and registration applications must demonstrate through laboratory and/or field studies, which organisms were controlled. Control of the whole disease complex cannot be claimed unless all principal components were tested both individually and together.

Where causal agents of disease are vectored by another organism, control of the disease by controlling the vector is dealt with under the part of these guidelines appropriate to the vector, e.g., insect vectors are covered by Part 5.

5.2.6 Components of Efficacy

Several parameters may be used to measure effectiveness of chemicals in controlling disease. Direct measurements of disease include the number of plants infected, symptom severity per plant or plot, changes in symptoms, and plant survival. Indirect parameters include height, dry weight and gross yield; and quality factors such as appearance of seeds or fruit, storage characteristics, and marketable yield; and pathogen populations. Two or more factors may be combined into a disease index. When in doubt as to what factors to use, consult the Product Manager.

Registrants should show that there was an increase in crop yield and/or quality using both direct and indirect measures, and that this was due to control of the disease claimed.

5.2.7 Pesticide Tolerance of Crops

The applicant for registration should establish pesticide dosage rates within which the host may be safely treated, and give evidence of the symptoms expressed when these rates are exceeded. Since tolerance usually differs with growth stage, safe dosages must be established for the stages to which the chemicals are to be applied (see Section 5.4.3 for further guidelines). Where a formulation may be used on crop combinations such as pasture mixes, companion or nurse crops, tolerance of the associated crop(s) should also be established before label claims can be added.

5.2.8 Bridging Data and Comparability Tests

Efficacy claims for new formulations, and label amendments to add other types of the given crop species or other cultivars, may only require "bridging" data rather than the comprehensive information required for an original registration (see Section 2.1.15). For example, if Argentine rapeseed/canola is already on the label and there is no indication of a pesticide tolerance problem, confirmatory trials at a few representative locations may be sufficient to add Polish rapeseed/canola to the label.

It is recommended that the applicant consult with the Product Manager before embarking on such trials.

5.3 Test Procedures

5.3.1 Test Substances

The test substance shall be the formulated product for which registration is sought (see Section 2.1.2). The test substance shall be compared to check treatments, and if possible, a reference product. The reference product should be the most widely accepted product, in current commercial use, for controlling the same disease. Where two or more products are widely used, any of them may be used as the reference product.

Any substances added at application, such as adjuvants, coatings and adhesives, should first be tested separately by the registrant. Provided that no problems are found, all these ingredients should be combined with the active ingredient(s) into a single treatment for subsequent tests, and for tests conducted by independent researchers.

When available, the mode of action and rate of breakdown of the test substance should be indicated to independent researchers and in the submission since they affect the timing and frequency of pesticide application.

5.3.2 Check Treatments and Representative Cultivars

For a test to be scientifically valid, pesticide treatments must be compared to one or more check treatments. These include: (a) an untreated check; and (b) an efficacy check or reference product when available.

One or more of the most widely used commercial cultivars must be used. It is also desirable, because of varying degrees of resistance in commercial cultivars, to include both susceptible and resistant cultivars in some tests when available.

5.3.3 Dosage

The pesticide should be tested at various dosage levels, including levels above and below those being suggested for commercial use (see Section 2.1.3). Development of a dosage range serves to determine the minimum and maximum recommended dose. The label should indicate the timing and rates of application. Dose ranges are also used to establish the likelihood of phytotoxic effects on the crop. The label should differentiate the dose range appropriate to a once-in-a-season application from the dose range suitable for multiple applications, and state the maximum total amount that may be applied in a season.

If necessary, consult with the Product Manager to determine the range of doses which should be tested.

5.3.4 Selection of Trial Sites and Plot Sizes

Climatic conditions, soil type and conditions, and agricultural practices may have a significant influence on the effectiveness of a pesticide (see Section 2.1.4). Tests should be conducted at sites representative of the major conditions under which the pesticide will be used. The number of tests required depends on each crop/disease combination. Choice and number of test sites required also vary with each crop/disease combination. When in doubt, consult the Product Manager.

In controlled environments the principal variants to be quantified are growth substrates, temperature, light, humidity and wetness periods. In controlled storages, airflow and concentration of atmospheric gas are also principal factors to be measured. Controlled environment tests cannot be used exclusively to support field use registrations; however, they are useful in preliminary screening of candidate pesticides, selection of one or more pesticides for extensive field testing, and providing supportive data.

Controlled environment tests may be used, or even required, when there is danger of a strain that is more virulent than endemic populations escaping from plots. In such cases, pesticide tolerance tests may still be carried out in the field as they do not require the presence of the pathogen. Controlled environment tests are required for controlled environment use registrations, e.g., greenhouses, mushroom houses.

To reduce drift from one treatment to another, add untreated rows between treatments to the experimental design. These rows may be of a taller or denser cultivar, or a more disease-resistant or spray-tolerant species. Physical barriers such as plastic sheets can also be used. Plots may also be planted farther apart to provide a distance break.

Plot sizes (see Sections 2.1.5 and 2.1.6) selected vary with the crop/disease combination being tested. For practical reasons, plots are usually as small as can be while still obtaining adequate disease development and control. The larger the plot is, the less the interplot interference. On the other hand, the larger the disease difference between adjacent plots, the greater the interplot interference, and the more replicates needed. There is also a normal progression as product testing continues and the range of desirable options is narrowed: from controlled environments, to nursery or small field plots, to large plots. Sub-sampling techniques are appropriate for assessment of large-scale testing.

5.3.5 Disease Pressure

It is essential to ensure adequate disease pressure for tests to give useful efficacy data. It is desirable that disease levels in the check treatment be within the range usually found in commercial crops.

High inoculum levels may be required for development of disease to a point where pesticide efficacy can be adequately tested. When using natural inoculum, judicious site selection and

testing of inoculum levels are required prior to testing. Use of natural inoculum may also require larger sites accommodating more replicates to account for variability in inoculum levels across the plot area. Alternatively, very small plots or numbers of treatments may be used so that a test can be fitted into an area where inoculum levels are uniform. Alternate strips of a susceptible cultivar can also be used to maintain uniform inoculum among plots for polycyclic diseases.

Artificial inoculum may be used to overcome these field problems. Inoculation methods include scattering naturally-infected plant debris or foliage, or artificially produced propagules in plots; spraying spores collected from infected fields or artificial growth media; and injecting a pathogen into plant parts directly. In controlled environments, or where particular strains of a pathogen must be used, artificial inoculation is usually employed. Special precautions must be used when inoculating with strains not present at the test site in case of escape, especially with virulent strains or exotic pathogens.

Where necessary, provisions should be made to attain and maintain environmental conditions conducive to uniform disease development. These may include selection of appropriate test sites, irrigation, misting, or provision of row covers. Otherwise, the test site should be managed according to accepted commercial practices whenever feasible.

Disease complexes are best tested where they occur naturally as they are usually very difficult to reproduce artificially. Testing over several years may be required to obtain a sufficient number of valid tests.

5.3.6 Timing and Frequency of Applications and Pesticide Combinations

The effectiveness of a pesticide can often be influenced by the way it is applied (see Section 2.1.7 on application techniques). In addition, the timing of applications is often critical, and may refer to the season, growth stage, pre-harvest period, or time of day. It may also refer to periods of spore release by the pathogen; or to duration of weather conducive to infection of the host.

The label should indicate the season or growth stages in which application is effective, the maximum number of applications that may be used in any growing season, and either the last growth stage at which application is required or the minimum pre-harvest interval in days. Timing of applications should be indicated by growth stages (see section 5.2.3) rather than calendar dates or months, because dates at which particular growth stages are reached vary by location and between seasons.

The frequency and maximum number of pesticide applications depend on crop tolerance of the pesticide, life cycle of the pathogen, induction of pathogen resistance with repeated use, duration of residual activity of the pesticide, and requirements for efficacy. The pre-harvest

interval, however, depends primarily on the speed of breakdown or dissipation following application.

Both weather-related and time-of-day recommendations are based on periods of host susceptibility and exposure to infection, e.g., duration of periods of optimal relative humidity, dew period, leaf wetness, or diurnal periodicity of spore release.

Prediction systems have been developed for some diseases based on quantification of such factors, e.g., late blight of potatoes, apple scab, and onion leaf blight, and should be used in efficacy tests when available.

Pesticide combinations refer to application of two or more products. Combinations may occur in manufacturers' formulations, tank-mixes, concurrent applications from separate spray tanks (see Section 2.1.13), or sequential applications of one or more pesticides (see Section 2.1.14). When selecting pesticides for a combination, choose two or more pesticides with different modes of action, such as a single-site with a multi-site inhibitor, different sites of action, or in alternating sequence. The pH should be measured after mixing. Testing of the combination is required before it can be added to a label. Bridging data from comparison trials may suffice, however, as each active chemical in the combination will have been tested separately in most cases. These comparison trials should demonstrate the physical compatibility of the combination's components, with no side effects, and no new or enhanced phytotoxicity. The Product Manager should be consulted.

For combinations with other types of pesticides, such as insecticides or repellents, each pesticide type in the combination should conform to guidelines for that type of pesticide.

Sequential applications may involve repetitions of a single product, a combination, or different products aimed at the same pathogen. Repetitive applications may be required when there are recurring conditions conducive to new infections, or when the first application failed to control the disease. Possible problems that occur with sequential applications include increased phytotoxicity and selection of pathogen strains resistant to the treatment. The former may require a series of reduced dosages, and the latter the development of new combinations or alternatives with products having different modes of action.

5.3.7 Pesticides Used with Fertilizers and Inoculants

Pesticides may be used in combination with fertilizers (see Section 2.1.17) or inoculants. Inoculants are classed as fertilizers for regulatory purposes, and therefore also come under the *Fertilizers Act and Regulations*. All classes of components should be tested both separately and together and shown to be compatible and beneficial. Such components must be registered individually. Consult the Product Manager to ensure that sufficient types of tests are carried out.

5.3.8 Experimental Design

Efficacy tests must be designed so that valid and appropriate statistical analyses of the data can be conducted (see Section 2.1.1). All the factors considered thus far in Part 5 should be taken into consideration in designing efficacy trials (10). A series of trials, each one testing the range of a single factor, is usually simpler than mixing several factors, although the latter may be more economical and is the only way to show interactions among factors.

Test objectives should be clearly defined and should include only treatments aimed at those objectives, plus adequate checks (see Section 5.3.2).

The number of replicates used is usually a compromise between the statistical optimum and either feasible plot size or attainable uniformity, e.g., soils tend to be more variable the larger the plot. There are methods for calculating the minimum number of replicates needed to detect differences between treatments under different circumstances (see Nelson (10) and the textbooks he cites). Four replicates is the number most often used. With a larger number of replicates the results from one trial are more likely to be reproducible in another. In multifactor experiments, some of the replication of a treatment level may be internal, thereby reducing the need for external replication. Everything feasible should be done to make a trial as uniform as possible.

For suitable trial layouts consult a statistician or a compendium of appropriate experimental designs (10).

References:

(10) Nelson, L.A. 1986. Use of statistics in planning, data analysis, land interpretation of fungicide and nematicide tests. Pp. 11-23 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

5.4 Evaluation of the Individual Trial

Each trial must be fully evaluated, analyzed, and conclusions drawn before it can be used as a result for comparison with other trials. It must be judged to be a valid test with adequate disease pressure, be free from extraneous interferences, and should be subjected to appropriate statistical analyses before it can be used in further evaluations to support an application for registration.

5.4.1 Validity of the Test

The results of all valid tests conducted under relevant conditions should be presented in the registration package.

A valid test is one in which there is adequate disease pressure and where there is no *a priori* reason to discard the data. Some ramifications of these statements are indicated below.

To determine whether a disease control test is valid, a number of factors should be measured or taken into consideration, including measurement of disease pressure (see Sections 5.2.7 and 5.3.5), observations on weather and other external influences.

The principal determinant of whether there is sufficient disease to assess pesticide effects is the level obtained in the check plots. Disease levels may be measured at the time of pesticide application, and at intervals up to harvest. The number of measurements will depend on the number of major growth stages and stages of disease development between application and harvest, and whether symptoms can be detected after onset of senescence.

A priori reasons for discarding the data may include weather factors. Apart from obviously catastrophic events such as hail, hurricane, flood, and killing frost (all of which can cause a test to be terminated and/or the data discarded), weather can have other significant effects on crops and data, e.g., a slight frost may cause significant damage at blossom, and yet this damage may be undetectable two weeks later or after fruit drop. Daily weather monitoring may be required within trials at critical periods. If so, sensors should be placed where the disease control treatment is actually being tested, e.g., amongst the seeds in the soil for a seed treatment test, or at branch level for a tree fruit. A set of reference sensors should be placed in a standard Stevenson screen, so that weather data collected may be compared to official weather records.

Records should be kept to indicate whether host establishment and development were normal, and all aberrations should be noted. Where plots have been influenced by an extraneous factor, they should be discarded, and corrective statistical techniques for missing data applied.

Where disease development is uneven through a plot, this should be noted and if possible mapped in order to identify a significant source of variability, or handled in blocked designs. Care should be taken to select correct methods of assessment.

A part of validation of a trial may include evidence that the test substance reached the target (specific parts of the plant), e.g., by using fluorescent dyes, water-sensitive paper, or other appropriate means (3).

5.4.2 Statistical Analyses

All valid tests should be subjected to statistical analyses appropriate to the experimental design and to the responses measured (10), (see Section 2.1.11). Each test should be properly analysed and conclusions drawn before comparing it to other tests.

For example, response data should be analyzed according to their distributional properties, i.e., if the variances are homogeneous, or are of Poisson-type, or binomial-type, or have some other distributional pattern, the appropriate procedure should be adopted. The effectiveness of pesticides can be quantified by fitting dose-response curves to the data (10,13).

The analysis of variance (ANOVA) and ordinary least-squares regression analysis are applicable only to continuous responses which do not have either a theoretical lower or upper bound (or both). These familiar analysis procedures are inappropriate to discontinuous data, such as counts, number surviving out of the number exposed, as well as other classes. Similarly, multiple range tests are appropriate only when there is no structure amongst the treatments (13), and certain multiple range tests may no longer be considered sufficiently rigorous for some situations. Other procedures, such as the Waller-Duncan Bayesian test, "protected" LSD, or orthogonal contrasts may be used under appropriate circumstances (10,11,13,14, 15, 16).

It should be noted that significance at the 5% level or lower ($P<0.05$ or $P=0.05$), although arbitrary, is the standard used for significance in science. Other standards, however, may sometimes be used (12).

References:

(11) Baker, R.J. 1980. Multiple comparison tests. Can. J. Plant Sci. 60:325-327.

(12) Little, T.M. and F.J. Hills. 1978. Pp. 24-25 *in:* Agricultural Experimentation. J. Wiley and Sons, N.Y. 350 pp.

(13) Little, T.M. 1981. Interpretation and presentation of results. Hortsci. 16:637-640.

(14) Swallow, W.H. 1984. Those overworked and oft-misused mean separation procedures --Duncan's, LSD, etc. Plant Dis. 68:919-921.

(15) Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1960. Principles and Procedures of Statistics. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

(16) Snedecor, G.W. and Cochran, W.G. 1980. Statistical Methods. 7th ed. The Iowa State University Press, Ames, Iowa. 507 pp.

5.4.3 Assessment of Pesticide Tolerance of Crops

The second part of an assessment of a pesticide's performance is to evaluate what injury it does to the host plant (phytotoxicity), if any (see Section 2.1.10,b). When no damage to the host is found at recommended dosage levels, it is desirable to test the pesticide at higher rates to establish a margin of safety between the maximum recommended dose and the onset of phytotoxicity.

Any injury or abnormality should be recorded and the extent measured. Measures such as percent area damaged, and reduction in plant height, weight or yield should be used. Any deformations, changes in color, number of stems or leaves, and delays in development and maturation should be noted.

When phytotoxic responses are noted, their duration and effects should be measured, e.g., phytotoxicity may be short-lived and have no effect on yield or quality, or there may be a net benefit from pesticide treatment despite phytotoxicity, or the losses may require a change in dose or pesticide.

Finally, there may be differences in tolerance to the pesticide amongst cultivars of a given crop. All submissions should include tests on representative cultivars currently in commercial use.

5.5 Evaluation of the Pesticide

Conclusions should be drawn on the efficacy of a pesticide based on the results from a series of trials (see Sections 2.1.11 and 2.3). Data from all valid tests should be used to draw conclusions.

5.5.1 Comparisons of Different Trials

Data from similar tests can be analyzed to determine their similarity or dissimilarity. In comparing trials, allowance has to be made for non-comparable factors such as different soils, weather, inoculum levels, spray deposition and agricultural practices. Factors that may be compared include standard and check treatments, cultivars, experimental design and methods, and inoculation procedures.

Submissions should include reports on trials conducted by all agencies including the manufacturer's trials, and private and public researchers. All published results should be included.

Results of different trials should be presented in summary tables. Individual trial results should be attached in an appendix and numbered. Conclusions should be drawn clearly, and the most desirable application procedures, dose ranges, timing, and limitations indicated. Each conclusion and label claim should be supported by the data presented.

5.5.2 Report Format

See Section 2.2, Report of Efficacy Data.

Each report should clearly reference the diseases, pathogens and product which will appear on the proposed product label. All relevant information listed in Section 2.2.3 of these Guidelines should be included. Additional information which is important for disease control products includes:

a) inoculum source and method of inoculation (natural, artificial);
b) method of disease assessment (e.g., percent leaf area with lesions); and
c) identified checks as described in Section 5.3.2

See Table 1. Summary of field data required.

For reports of individual trials, the Pest Management Research Report format may serve as a model.

5.6 Specific Use Patterns

5.6.1 General

Evaluators should have a clear understanding of the type of chemical control that they are trying to obtain. This will depend on the mode of action of the chemical, and on the life cycle of the causal agent of the disease. These factors will affect timing, frequency and dosages used. Treatments can be divided into protective and eradicative types. All non-systemic or contact pesticides work best as protective treatments, not only because of their lack of mobility but also because the number of pathogen propagules to be killed is relatively small early in the development of infection. Even systemic pesticides work better at early stages of infection for the latter reason. Use commercially acceptable disease monitoring/prediction systems to determine timing when these are available.

a) Bacterial Diseases

Methods for evaluating efficacy of chemicals against bacteria causing disease are very similar in principle to those for fungal pathogens.

Consequently, bacterial diseases are covered by sections dealing with soil, seed, above-ground, greenhouse and post-harvest treatments. Specific methods have been reviewed for evaluating bactericidal sprays in controlled and field environments (17,18) and soil treatments (19). For further details consult the references.

References:

(17) Beer, S.V. and J.L. Norelli. 1986. Evaluating spray materials to control fire blight: laboratory, greenhouse and field techniques. Pp. 134-142 *in:* Hickey, K.D.(ed.), *op.cit.*

(18) Gitaitis, R.D., J.B. Jones and S.M. McCarter. 1986. Evaluation of chemical control of bacterial diseases of tomato. Pp. 205-209 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

(19) Moore, L.W. 1986. Evaluating soil treatments for control of *Agrobacterium tumefaciens*. Pp. 273-276 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

(b) Nematode Diseases

Methods used to evaluate efficacy of nematicides against plant diseases caused by nematodes do not differ in principle from those used to evaluate fungicides. Methods of handling and evaluating nematode populations in soil and plants have been thoroughly reviewed (20,21,22), and field procedures updated (23).

Evaluators should determine whether they are attempting to control sedentary endoparasites, migratory endoparasites, ectoparasites, or some other type, and conduct appropriate tests and follow-up evaluations. The objective is to protect the crop by single or split applications of nematicides, and to measure both the immediate effect and the duration of protection.

For foliar applications, see Section 5.6.4. For soil-borne nematode diseases see Section 5.6.2. Effectiveness of nematicides applied to soil can differ markedly, both between and within fields, in relation to variations in texture, water content, and organic matter. It is therefore essential to evaluate soils in the plot area prior to starting the test, and to use plot designs that allow for non-uniformity in nematode distribution.

References:

(20) Brown, R.H. and B.R. Kerry (ed.s). 1987. Principles and practice of nematode control in crops. Academic Press. 447 pp.

(21) Maloy, O.C. 1993. Plant Disease Control: Principles and Practice. J. Wiley and Sons Inc. New York, 346 pp.

(22) Part X. Nematicide test procedures. 1986. Pp. 281-307 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

(23) Part 5. Nematicide field trials. 1992. Pp. 227-237 *in:* Muller, G. and F.J. Schwinn (eds.). Manual for field trials in plant protection. CIBA - Geigy Ltd., Basle, Switz., 271 pp.

5.6.2 Soil Treatments

Soil treatment chemicals may be divided into pre-plant and post-plant types. Pre-plant pesticides are mostly fumigants and sterilants used as biocides to pasteurize or sterilize the soil, although some are selectively nematicidal.

Pre-plant incorporation of pesticides into soils, either in dry mixes or in drenches, is sometimes used in small-scale field situations, and is used extensively in controlled environments. Because of inactivation by soil microorganisms and/or adsorption of the chemical by clay particles, it is generally considered to be an inefficient application method for field use. However, with the advent of slow-release granules, pre-plant incorporation may prove as useful in controlling seedling diseases as it is already for controlling certain insects.

Post-plant soil treatments involve pesticides applied as drenches, granulars, or sprays directed at the base of plants to prevent sudden outbreaks, e.g., of damping-off in greenhouse flats and pots, for control of root diseases, or injections into the root zone for uptake of systemics into above-ground plant parts.

(a) Soil Injection for Root Uptake

This type of pesticide application is useful for established trees, and other woody perennials, and requires systemics that are taken up via the roots and translocated to infected plant parts which may be above or below ground level. In this method, a pesticide is usually applied to the soil in the root zone. To avoid absorption by surface-layer microorganisms and organic matter, the pesticide is inserted into the sub-surface root zone via a series of holes drilled around the drip-line. It is a special case of direct soil drenching.

(b) Drenches and Granulars

Dispersal of pesticides into soil to control root and crown diseases is inefficient because most of the chemical does not reach its target. It may be adsorbed by organic matter or clay particles, or affect non-target organisms more than the pathogen. Dispersing pesticides via water drenches or cultivating granular and powder formulations into the soil can nevertheless be effective in seedbeds, hotbeds, nurseries, greenhouses, containers, and other high value crop situations. Since soil type, texture, pH, organic matter content and depth may influence the results, it is essential to describe the soil, all soil preparations, and site history carefully (27).

Pre-plant incorporation of the pesticide allows deep and thorough mixing of dry formulations. Because inoculum propagules are small, thorough incorporation or penetration of the pesticide is essential.

In-furrow sprays can place a barrier between the pathogen and the base of the stem (26). Drenches may be applied pre-emergence or post-emergence, as sprays directed at the soil surface or in irrigation water, either in sufficient volume to soak to the required depth, or watered in subsequently (23,24,25,26). Chemicals may have to be applied so that the roots do not grow out of the treated zone during the vulnerable part of their growing season (26).

Disease ratings should be taken just prior to pesticide application, and at scheduled intervals thereafter.

References:

(24) Johnson, A.W. 1986. Evaluating nematicides applied through sprinkler irrigation systems. Pp. 300-302 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

(25) Johnston, S.A. and D. Hall 1986. Field evaluation of fungicides for control of Allium white rot. Pp. 194-196 *in:* K.D. Hickey (ed), *op.cit.*

(26) Kroll, T.K. 1986. Field evaluation of fungicides for control of clubroot of Crucifers. Pp. 185-186 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

(27) Nesmith,W.C. and C.W. Averre. 1986. Determining & reporting soil properties in fungicide & nematicide tests. Pp. 24-28 *in:* K.D. Hickey (ed), *op.cit.*

(c) Chemigation

Pesticides may be applied mixed into irrigation water. The product label must clearly specify that the pesticide can be applied through an irrigation system. Consequently, a product must be adequately tested under irrigation before a label claim can be made. Guidelines for use of pesticides in irrigation systems have been published recently (30). Research methods have been developed for both foliar (29) and soil-borne diseases (24), including soil fumigation by chemigation when the fumigant is water soluble (28).

Chemigation is a high-volume method of applying fungicides and nematicides compared to standard low-volume applications by ground or aerial sprayers. Typically, only 10 percent of the product may stay on the leaves compared to up to 90 percent in standard applications. Improvements in control can be derived from factors such as improved distribution of chemicals, reduction of primary inoculum in debris, and less soil compaction (27). Consequently, efficacy of a product in irrigation water is usually different from its efficacy in standard sprays. Bridging data (comparative data) between chemigation and conventional application methods may be needed.

References:

(28) Adams, P.B. 1986. Soil fumigation by chemigation with Metham. Pp. 270-272 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

(29) Backman, P.A. 1986. Evaluating foliar fungicides applied through irrigation systems for control of peanut diseases. Pp. 221-223 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

(30) Van der Gulik, T.W. 1993. Chemigation: guidelines for British Columbia. B.C. Min. Agric. Fish. Food and Irrigation Industry Assoc. B.C., 81 pp.

(d) Fumigants

Soil fumigation utilizes chemicals that are active in the vapor phase. The essential features of all such products are that they must be thoroughly incorporated or injected to sufficient depth. The gas must fully penetrate soil particles. This requires sufficiently well-worked and aerated soil at sufficiently high temperatures. The gas must be contained in the soil for the requisite period by covering with either a gas-tight cover or by sealing the soil surface by packing or with water (21,28). The gas must then be released by removal of the cover and if necessary by aerating the soil. It may be necessary to test soil for phytotoxic residues of the fumigant before crops can be sown or planted.

Limitations to fumigant efficacy come from high soil moisture, low soil temperature, and high clay content (wet clay is almost impervious to gases), and shallow injection or incorporation. Efficacy limitations may also depend on the type and density of crop residues in the soil, initial pathogen populations, and soil porosity. If inoculum is left undisturbed deeper in the soil, it will survive treatment and attack the new crop (31). Conversely, when fumigants that act as biocides or sterilants are used, much of the soil's microfauna and microflora, the pathogen's natural antagonists, are usually killed. This creates a biological vacuum in which the first or most efficient invaders may flourish. If one or more of these is a pathogen, new and potentially more severe problems may result for subsequent crops.

It may be necessary to do follow-up evaluations of disease control and plant vigor throughout the season, and possibly in the following season. On the other hand, benefits from fumigation beyond control of the disease in question have also been found, e.g., yield increases larger than yield losses attributable to that disease. Yields obtained should be compared with yield losses estimated from disease ratings.

Reference:

(31) Moore, L.W. 1986. Evaluating soil treatments for control of *Agrobacterium tumefaciens*. Pp. 273-276 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(e) Non-target Organisms

Soil treatments of all types, especially fumigants, sterilants and biocides, may have adverse effects on non-pathogens (33). In particular, there may be marked reductions in populations of beneficial symbiotic micro-organisms such as mycorrhizae (32) and rhizobia, and on antagonists to pathogens such as *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp., and *Bacillus* spp. Tests on such organisms may be required and registrants are encouraged to consult the Product Manager.

References:

(32) McGraw, A.-C. and J.W. Hendrix. 1984. Host and soil fumigation effects on spore population densities of species of Endogonaceous mycorrhizal fungi. Mycologia 76: 122-131.

(33) Starr, J.L. and C.M. Kenerly, 1986. Nematicide evaluation as affected by disease complexes and nematicide effects on nontarget organisms. Pp. 305-307 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

5.6.3 Seed Treatments

Seed treatments may be used to control seed-borne and soil-borne pathogens. The type of control required determines the chemicals chosen and rates of application. Pre-test and select seed lots with good germination percentage, rapid germination, and good seedling vigor for tests of soil-borne diseases (34). For seed-borne diseases, select lots with high infection percentages. Methods of seed treatment used should be reported.

Laboratory germination tests should be carried out immediately after treatment to evaluate possible phytotoxicity and at suitable intervals subsequently to support claims on how long after treatment the seed may continue to be used.

Sowing time and conditions often affect the disease level obtained and should be reported. It may be useful to monitor soil temperature and moisture as these can have a significant effect on fungicide efficacy and germination. It may be necessary to conduct seed treatment tests at cool soil temperatures to obtain enough disease pressure to demonstrate good control.

An important measure of seed treatment efficacy is stand establishment. Interim counts of emergence and of post-emergence death of seedlings are of interest in studying disease progression and evaluating efficacy. Delayed emergence may be an indicator of phytotoxicity. Before and after-winter stand counts are recommended for fall-seeded crops. Systemic disease expression often continues to appear until after heading, requiring counts later in the season. Yield data should be collected to substantiate that the effects observed on stand establishment are carried through to yield (34).

(a) Seed-borne Diseases

Seed-borne diseases are of two basic types: those where the pathogen is superficial or **surface-borne**, and those in which the pathogen has penetrated the seed coat or deeper, i.e., **internally-borne** or systemically infected.

Naturally infected seed (10-30 percent) is suitable for most diseases, but number of seeds used, plot size, or replication should be increased as the level of infection drops, or inoculated seed may be used, depending on the disease being tested. If the level in the check is too low, it may not be possible to detect treatment differences, or the results may give the erroneous impression of satisfactory control of the pathogen. If it is too high, unrealistic demands are put on the formulation and/or a dosage higher than needed may be recommended (see Section 5.3.5). Method of inoculation should be reported.

The level of acceptable disease control depends on the disease and market for the crop, e.g., 100 percent control of wheat bunt is not essential for good yield, but is required for export.

(b) Soil-borne Diseases

As with seed-borne diseases, the soil-borne diseases do not develop until the seed imbibes moisture.

(i) Damping-off

Soil-borne seed and seedling blights, collectively known as **damping-off,** may be caused by pathogens from all three major classes of fungi. Evaluators should verify that relevant pathogens are present in experimental soil or field sites.

Note that since the same soil-borne fungi may cause both pre- and post-emergence damping-off of seeds and seedlings, germination capacity (measured *in vitro*), percent germination in soil, percent emergence and percent stand establishment (measured when the seedlings are mature enough to be no longer susceptible to damping-off) are four different measures. For efficacy tests, stand establishment is the most important (35).

Where the same organisms cause both damping-off and root rot, no absolute separation between the two may be possible. Damping-off is considered to end when there is sufficient suberization of the main roots to prevent death of the seedling. Externally, the "wirestem" symptom indicates the transition from damping-off to establishment, or, if root decay persists, to root rot.

(ii) Root Rots

A second type of soil-borne disease sometimes amenable to control by seed treatment is caused by pathogens that infect at the seedling stage but are expressed as root rots of established plants, e.g., common root rot of wheat and barley. Root rots can be measured by incidence (number of affected plants), severity (proportion of roots lesioned or rotted off), plant dry weight, and seed yield.

(c) Combined Seed Treatments

Where seed treatment is used to control both seed-borne and soil-borne diseases, judicious selection can still limit the number of pesticides, i.e., one for each major class of fungi. Care has to be exercised to avoid or limit phytotoxicity since seeds are small entities to be carrying a complex load of pesticides, e.g., one or more fungicides and one insecticide and/or an inoculant. Treatments for comparison should include a reference product containing several components of the mixture to be tested (e.g., a similar formulation but lacking one of the fungicides). A slight delay in emergence may be found with combination treatment; however, this is usually compensated for by healthier plants and higher rates of establishment. It is important to evaluate combinations for any additive effects on emergence and plant growth either positive or negative (see Section 5.2.7).

(d) Coating, Pelleting and Fluid-drilling

Seed treatment chemicals may be applied in a coating material, such as methyl cellulose, which improve their retention on the seed. Components of treatment mixtures may be layered on separately in some cases. Chemicals can also be added to the drilling fluid at seeding (34,35).

References:

(34) Mathre, D.E. and E.D. Hansing. 1986. Evaluating seed-treatment fungicides. Pp. 248-251 *in:* K.D. Hickey (ed), *op.cit.*

(35) Sonoda, R.M. and S.C. Phatak. 1986. Screening fungicides for seed and seedling disease control in plug-mix and fluid-drilling plantings. Pp. 258-260 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

5.6.4 Above-ground Treatments

In general, above-ground treatments aim to prevent infection by spores or other propagules by killing them on arrival at the surface of the plant, or by eradicating the pathogen at an early stage of infection.

Dispersal capability of a pathogen directly affects the size of plots used. If spores are released from the crop debris and are dispersed primarily by rain splash, then relatively small plots may be used. If, in contrast, spores are distributed by winds, not only will larger plots be needed but uninoculated plots, which may be used to determine phytotoxicity and/or efficacy of treatments, will be obtained only by covering the crop to prevent spore contact for the duration of spraying. Low-level dispersal can be restricted by using guard rows of a taller, non-susceptible species.

Researchers should measure, via disease ratings, the amount of re-inoculation, or re-start after application of fungistatic compounds, that develops following treatment. A chemical that persists and gives lasting protection against repeated natural inoculation is clearly preferable.

In general, tests should conform to current good management practices and harvesting procedures. Because of greater variability in perennial fields than within annual crops, higher numbers of replicates (six or more) may be needed.

Use of supplemental sprinkler irrigation may be needed to ensure sufficient moisture and humidity for adequate disease development (41). In the absence of irrigation, some applications should follow periods of significant wetness. Since duration of very high humidities and/or leaf wetness determine infection, rather than precipitation, these factors may be recorded throughout the test, along with air temperatures and rainfall.

Foliar applications will be most effective when applied under drying conditions at moderate temperatures, depending on the formulation. If it rains before the spray has dried, the product is likely to be washed off. At high temperatures there is more danger of phytotoxicity.

Dormant-season treatments from late fall through late winter are often useful in controlling diseases with inoculum that overwinters in bark, litter or other relatively exposed places. Such treatments are also useful in controlling diseases during spring infection periods. They may also permit use of higher dosages or more persistent chemicals because of a lower risk of phytotoxicity and the longer pre-harvest interval, provided environmental concerns are met.

(a) Annual Field Crops

This section covers cereals, oilseeds, pulses and annual forages, and includes both fall-sown winter annuals and spring-sown crops. Environmental conditions, soils and agronomic practices vary widely, and therefore require efficacy tests in a wide variety of conditions.

i) Seasonal Crop Types

Label claims must specify both the individual species and whether they are for spring or winter types. However, efficacy tests are the same for both spring and winter types, except for fall-applied treatments against snow molds. Label amendments for either spring or winter types of any given species may only require bridging data (see Section 5.2.9). A third crop type is the aquatic cereal wild rice, of which there are two species grown in Canada. This type is biologically and environmentally distinct from the other types of cereal. There are no specific use patterns for wild rice at this time.

ii) Spring Annuals

Efficacy testing methods for different annual spring crops are much the same, apart from the specifics of ensuring enough disease and characteristic expressions of some diseases that may require a distinctive measurement.

In small-grain cereals the flag leaf and the penultimate leaf provide most of the plant's photosynthates. Consequently, rating systems often concentrate on these two leaves. However, since many leaf diseases may also attack the seed heads, they should also be included in rating systems. Keys are available for rating percent area infected for leaves and heads (37). Rating the older and lower leaves may be required for corn, when control on lower leaves influences subsequent disease development, or when a change in weather prevents spread to the upper parts. In the latter case, yield is unlikely to show any differences between treatments, but rating the lower leaves may still demonstrate pesticide efficacy. Diseases that affect heads exclusively do not require leaf assessment.

Pathogens causing foliage and head diseases typically have highly dispersible spores, so that it is often difficult to prevent continued re-inoculation of treated plots. Use of taller, non-susceptible species as guard rows between plot strips has been used successfully in reducing re-inoculation. Conversely, placing rows of highly susceptible cultivars between plots can ensure uniform inoculation of the plots; however, care must be taken lest this method overwhelms the checks, giving a false result. In humid climates, repeat applications of pesticides may be needed to control re-infection of crop. In drier climates that are only occasionally

humid enough for the disease to develop, it may be necessary to provide humidity for field plots, at least during artificial inoculation, by artificial misting and/or covering for the time required for the pathogen to infect.

In broad-leaved crops, as with cereals, disease ratings are usually made on the most actively photosynthesizing foliage. Keys for scoring the percent leaf area diseased (for both cereals and broad-leaved crops) developed by James (37) are used internationally. The most useful growth stages at which to take disease ratings are the onset of flowering and the end of flowering, as these may correlate well with damage to vegetative growth and reproductive growth respectively (34,36); however, the most useful stages for ratings also depend on disease type and development. The last disease assessment is usually at the onset of senescence. Assessments at later stages are required only where post-senescence disease development affects quality, e.g., microbial discolorations reduce malting quality of barley.

iii) **Winter Annuals**

Winter annuals (fall rye, winter wheat, winter barley) are sown in the fall and are subject to damage by many pathogens. Summer diseases are controlled as for spring annuals. Winter annuals are also subject to several different snowmolds which may occur in mixtures. Efficacy claims must indicate which pathogens are controlled. Chemical protection is required for up to six months in some regions of Canada. Some of the fungicides used may have beneficial effects on soil-, residue- or stubble-borne spring diseases as well.

The most useful parameters for measuring efficacy against snowmolds are, in descending order, number of seed stems or heads per unit area, number of plants established (counted approximately four weeks after resumption of growth in the spring) as a percent of the number at the time of fall treatment, and yield. Yield is an indirect measure of treatment effect, but is the best indicator of economic benefit.

References:

(36) Frank, J.A. & H. Cole. 1988. Field evaluation for control of foliar diseases on small grains. Pp. 224-225 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

(37) James, W.C. 1971. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. Can. Plant Dis. Surv.51:39-65.

(38) Nesmith, W.C. 1986. Evaluating fungicides for control of foliar diseases of tobacco. Pp. 226-230 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

(b) Perennial Field Crops

This section applies to all types of field-grown grasses, legumes and other herbaceous perennial crops. A grass or legume may be grown for forage in pure stands for forage or seed, in defined mixtures, with one or more other species for pastures, or in mixtures for range and brush lands, and singly or in various mixtures for reclamation and soil stabilization. Seed fields may be grazed following harvest. Preliminary screening of fungicides and nematicides to establish dosage ranges and thresholds of phytoxicity may be done in the greenhouse, as with other crops (38).

i) Foliage, Stem and Head Diseases

Foliage, stem and head diseases of perennials may be controlled chemically. Particular attention must be paid to stages of infection and disease development for good results. Sources of inoculum include plant debris and stubble from the previous crop. Scattering hay or debris from a heavily infected field of the previous year is an effective way to inoculate plots for test purposes. This is best done in the fall so that immature sporophores may mature naturally by the following spring, and it is less weather-dependent than spraying relatively ephemeral conidia.

In perennial fields, there are usually several diseases present. Even when the test site has been selected for dominance of the disease being treated, it is necessary to evaluate all the diseases present (33,39,41). With multiple-cutting crops, each forage harvest or cutting stage should be rated as well as harvested.

It is important to follow field practices and harvesting procedures that favorably affect quality factors and price (41).

ii) Snowmolds

Perennials are attacked by the same snowmolds that damage winter cereals. In complexes of snowmolds, the relative dominance of the different pathogens is likely to change with age of the stand, depth of snow cover, and agronomic practices.

Consequently, fungicide mixtures usually prove more effective than single compounds. Methods for assessing efficacy are the same as for cereals, except for multi-season measurements and measures of forage quality and yield.

References:

(39) Orr, C.C. and C.M. Heald. 1986. Plant responses in the evaluation of nematode control agents. Pp. 297-299 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(40) Sanders, P. and H. Cole. 1986. *In vivo* fungicide screening on greenhouse-grown turfgrasses. Pp. 110-111 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(41) Stuteville, D.L. 1986. Methods for field evaluation of fungicides for control of foliar diseases of alfalfa. Pp. 210-211 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(c) Turf

Turfgrass diseases may be controlled with fungicides, nematicides or pre-plant fumigants (see Section 5.6.2c). Turf stands are very uniform compared to other crops, including the same grasses when grown for seed or forage, which allows use of small plots, e.g., $1m^2$, provided inoculum is also uniform.

The modern golf green is a relatively artificial form of turf grown mainly on sand. It is also managed much more intensively than other types of turf. Such turf is more sensitive to overdosing, quicker to show phytotoxicity and quicker to die out than turf grown on soil. Consequently, more precision and care is needed in applying pesticides, and more frequent observations and attention to signs of toxicity are required than for other turfs. Moreover, pathogens in such conditions are more liable to produce resistant strains unless fungicides of different modes of action are used.

Other types of amenity turfs may be grouped together for efficacy testing, although management practices and underlying soil type may have marked effects on disease occurrence and control. Turf damage and control may be evaluated by estimating the percent area of the plot damaged, or by mapping and measuring damage, or quality and color, using a planimeter, and rating the severity of damage. Taking soil temperatures may be useful in evaluating root diseases such as take-all patch, e.g., at 5 cm depth, at 2 p.m. The ability of turf to regenerate from deep tillers, i.e., its recovery rate, is also affected by treatments and should be assessed at predetermined intervals. Time required for full recovery should also be determined.

In climates where freeze-up of the ground occurs, it is essential that treatments be applied beforehand. Tests should also include some treatments applied as soon as there is frost at night because some
so-called snowmolds become active once the turf starts to become dormant, and cause most of their damage prior to freeze-up. Timing, duration, compaction and depth of snow have marked effects on snowmold damage as well as temperature at the groundline. All of these variables should be monitored (42).

Complexes of diseases may build up over time in turfs, some acting synergistically, but others acting at different seasonal stages. The effect of treatments on other diseases present should be evaluated. These treatments may be beneficial or, by controlling a certain disease, create a biological vacuum that allows another, perhaps insignificant, pathogen to cause considerable damage (42). Use disease-prediction systems when available.

References:

(42) Smiley, R.W., P.H. Dernoeden and B.B. Clarke. 1992 (2nd.ed.). Pp. 80-82 *in:* Compendium of turfgrass diseases. APS Press, Amer. Phytopath. Soc., 98 pp.

(43) Smith, J.D. 1987. Winter-hardiness and overwintering diseases of amenity turfgrasses with special reference to the Canadian prairies. Agric. Can. Res. Br., Tech. Bul. 1987-12E, 193 pp.

(d) Vegetables and Herbaceous Fruits

Field trials for vegetables and herbaceous fruits are laid out according to the same principles as for other field crops. Since individual vegetable plants are generally larger than those of cereals or grasses, plot size may be calculated on some minimum number of plants. This, in turn, may depend on the number of plants required for a sample, and the number of samples that have to be taken during the season. As plant size increases, the number per sample or per plot decreases. For larger vegetables, e.g., potatoes, cucurbits, or melons, minimum sample size is 5-10 plants leading to a minimum of 20-40 plants per plot. For smaller species, e.g., carrots, onions, or strawberries, a minimum plot size may be 5m of row. Where applicable, both fresh market and processing cultivars should be tested.

Plots may be separated by untreated guard rows to minimize spray drift, unless there is a risk that the disease may build up so much that it overwhelms the treated rows. Single-row plots can be used where there is little risk of spore or spray drift, whereas square plots astride several rows are preferable when either spores or sprays may drift. When plots of three or more rows are used, the outside rows serve as treated guards and the inner rows, which are free of edge effects, are used for sampling, rating and harvesting.

Where growers follow weather or weather-prediction systems in setting their spray schedules, some of the efficacy tests should be done similarly.

Disease measurement should include not only direct measurements of symptoms, but also a quality assessment of factors such as poor size, blemishes, rot and other defects (44). Loss of quality may be more important economically than loss of quantity. Unless otherwise specifically indicated, yield means commercially marketable yield. However, gross yield and yield of each commercial grade may

also be taken. Each harvest should be graded, rated and stored separately.

For vegetables and herbaceous fruits, both efficacy and toxicity evaluation may continue after harvest, as both disease and treatments can affect storage and even taste. Disease assessments of vegetables stored under commercial or comparable conditions should be made at appropriate intervals.

Reference:

(44) Howard, R.J., J.A. Garland and W.L. Seaman (eds.). 1994. Diseases and pests of vegetable crops in Canada. Can. Phytopath. Soc. and Entomal. Soc. Canada, Ottawa, Ont. 554 pp.

(e) Orchards, Bush and Vine Fruits

Orchard trials with tree, bush and vine fruits are laid out according to the same principles as other field trials. The large size of established plants may reduce the number of plants per plot to as little as one for well-established trees. To avoid problems of scale and replication with larger trees, it is feasible to do some efficacy testing of fungicides on potted trees and shrubs, 1-10 years old, in the greenhouse, or using detached blossoms (36,37). These techniques are also suitable for preliminary efficacy testing to establish dose rates or concentrations.

In orchards, good commercial management practices should be used, including annual pruning, and pruning before setting up a trial, which help to establish and maintain open canopies that permit thorough spray penetration, stimulate new wood production in the lower part of the plant, and help to develop a sound framework for long-term production. Judicious commercial pruning makes it possible to maintain twice the usual number of trees or shrubs in the early years of a test site, and allows for earlier and more intensive testing by doubling production and maintaining a more favorable microclimate for disease development (46). It also increases the density and effectiveness of buffer rows.

Weather-based prediction systems have been developed for some orchard diseases, e.g., apple scab (47). To use these effectively, it is essential to know when infection periods occur, the length of the incubation period, and the severity of subsequent infections. Considerable delays in symptom development may occur with consequent delays in evaluation, e.g., until the following spring for bud infection, whereas blossom infections may develop in as little as two days. Where recommended spray schedules have been developed, consult a local pest management specialist about their use.

Initial field testing can be done with handgun sprayers and single- or half-tree or vine replicates. However, commercial orchards are generally treated using some form of air-blast sprayer. Custom versions may have to be made for efficacy testing

(47). It has been recommended that air-blast plots should consist of a minimum of five trees times five replicates. Others use one to three tree plots replicated four times. The size of experimental orchard plots depends in part on the size of the trees. Buffer rows are required between treated rows because air-blast sprayers will distribute sprays over a considerable distance even on calm days (47).

Since shrubs, vines, and herbaceous perennials are grown in rows, the unit for testing is a few metres of row, which will be determined by the space occupied by a certain minimum number of plants. In others, the row may be so grown together that individual plants can no longer be distinguished which may limit evaluation of systemic pesticides.

It may be necessary to evaluate efficacy against root and crown diseases on both rootstocks alone and on grafted commercial cultivars. As with all diseases of woody parts of trees and shrubs, evaluation of treatment effects may take two or more years.

Bactericides are usually tested separately from fungicides, although a fungicide and/or an insecticide may be used as a background treatment in order to isolate the bacterial disease. Preliminary screening of test materials using seedlings or immature fruit is strongly recommended, in order to minimize the number of times and locations requiring inoculation with a virulent disease (47). When treatments are applied to blossoms, inspections and ratings of both the disease and phytotoxicity are often done at two-day intervals (46).

Disease ratings can be taken on as few as 20 branch terminals per plot or per tree provided they are selected at random. This allows for a detailed evaluation of each terminal. Numbers of fruit, leaves and nodes (where fruit or leaf drop is a sign of disease) can be counted and several ratings can be made at different stages of the season. Ratings should allow for the sizes of the twigs, branches or trunks affected by disease, and type of product used (47).

Fruit yield and quality factors should be evaluated. Commercial yield is the principal factor incorporating visual quality factors. For full information on fungicide performance, measure gross yield, yield in each commercial class, and rate quality factors. Quality factors vary with intended use and differ for fresh fruit juice, processing, drying and, in the case of grapes, wine in which effects on fermentation yeasts, aging and taste development may occur.

References:

(45) Jones, A.L. and G.R. Ehret. 1986. Field evaluation of fungicides for control of diseases on tart cherries. Pp. 120-124 *in:* K.D. Hickey (Ed.) op. cit.

(46) Szkolnik, M. 1986. Investigating physical modes of action of tree fruit fungicides. Pp. 98-101 *in:* K.D. Hickey(ed.)

(47) Szkolnik, M. and K.D. Hickey. 1986. Testing chemical sprays on blossoms of deciduous fruit trees. Pp. 112-115 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(f) Nurseries and Short-lived Plantations

Nurseries, forest tree nurseries, caliper tree and Christmas tree plantations, and outdoor container stock may require production of blemish-free plants in predetermined size ranges. Pre-plant fumigants, drenches and granulars (Section 5.6.2) are widely used to eliminate initial soil-borne diseases and nematodes (39). Seed treatments (Section 5.6.3) are used where soil is not treated. Principles for efficacy testing on nursery crops are very similar to those for vegetables, herbaceous plants and orchard crops.

Phytotoxicity is of great concern in nursery crops because they are judged and marketed on their appearance (48). Their health and vigor, which are mutually dependent, are also at a premium so as to optimize transplant survival. Latent infections that cause disease only after transplanting are an industry-wide problem that requires production of disease-free plants. The objective, therefore, is always 100 percent efficacy; however, the repeated pesticide applications that are required may lead to development of pesticide-resistant strains of pathogens.

Test procedures should not only allow for evaluation of efficacy, but also of phytotoxicity, vigor, latent infections, and the presence of resistant strains. Latent infections may be caused by resistant pathogen strains whose activity is suppressed by the routine prophylactic measures, but which are able to develop when controls are relaxed after transplanting.

To evaluate phytotoxicity, higher dosage rates should be included. For foliar diseases, tests should include two to four applications per month for three to six months. Ratings should be made to evaluate both efficacy and phytotoxicity. The most appropriate rating may not be apparent until after the trial is completed. Photographs should be used to document qualitative scales to assist reproducibility of tests (48).

References:

(48) Chase, A.R. and D.D. Brunk. 1986. Evaluating fungicides for control of foliar diseases of foliage plants. Pp. 240-243 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(49) Sutherland, J.R., G.W. Shrimpton and R.N. Sturrock. 1989. Diseases and insects in British Columbia forest seedling nurseries. FRDA Rep. 065, Can./BC Econ. Reg. Dev. Agrmt. and B.C. Min. For., 85 pp.

(g) Shelterbelts, Landscapes and Parks

Trees and shrubs in shelterbelts, landscapes, parks and other public-use areas are subject to a variety of diseases, some of which can be controlled with commercially registered fungicides or bactericides. Similarly, ornamental herbaceous perennials and annuals may require chemical control of their diseases.

Testing may not be acceptable in public-use areas, however, and should be carried out in areas in which access can be controlled. The same species and cultivars grown in public-use areas should be used in the tests.

Efficacy testing methods for ornamentals in public-use areas are similar to those for orchards, nurseries and vegetables. The large size of some trees poses practical problems in application, and public use raises safety issues, so that testing of such crop/disease combinations is most readily done in nurseries or plantations.

(h) Tree Injection

Injection of pesticides is used to control diseases in individual trees of high economic or aesthetic value. Strictly, **injection** refers to the introduction of fluids via a pressurized apparatus, either low pressure (syringes, garden sprayer tanks, gravity bags) or high pressure (N, CO_2, or compressed-air tanks). Passive uptake of fluids through various types of wounds is termed **infusion**.

Problems arise from a lack of standard methodologies. All injection methods require wounding the tree, and the tree responds to wounding by plugging its vessels, sometimes within hours, thereby preventing further uptake. Furthermore, intake and translocation are different for each pesticide, and each may be translocated differently from the dyes often used to monitor internal movement (50).

The most uniform distribution of compounds within a tree comes from infusion or injection of lateral roots (cf. Section 5.6.2(a)). The higher up the tree that injection takes place, the more unpredictable the uptake becomes (47).

Efficacy testing is the same as for other trees, except for method of application. If pesticides are applied at early stages of infection, remission of foliar symptoms is

possible and should be documented. The least expensive method is with a visual rating method. Standard photographs should be used to illustrate the different rating grades, and to provide year-to-year consistency and reliability of assessments (51). Where fruit trees are treated, the appearance, taste and marketable yield of the fruit should be recorded. Tree vigor may be evaluated by measuring elongation of shoots, trunk diameter, height, and increase in branching (51).

References:

(50) Lacy, G.H. 1986. Evaluating chemicals for tree infusion or injection to control diseases caused by mycoplasmalike organisms. Pp. 266-269 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(51) Stipes, R.J. and R.J. Campana. 1986. Introducing and evaluating liquid fungicides in elm trees for the control of Dutch Elm Disease. Pp. 261-265 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

(i) Ranges and Forests

At present, there are few applications for chemical control of plant diseases in range or forest lands. See Part 3: Herbicides, for methods appropriate to such lands.

(j) Domestic Areas

Gardens, yards, housescapes and other private-use areas may be treated only with pesticides having DOMESTIC (DOM) registration. The differences between DOMESTIC and COMMERCIAL (COM) registrations relate to safety and residue concerns rather than to efficacy or phytotoxicity. Methods of efficacy testing, therefore, are the same as in the sections above on vegetables, fruits, and ornamentals.

5.6.5 Greenhouse and Other Enclosed-Space Treatments

(a) Greenhouse, Tunnels and Row Covers

This section deals with greenhouse-grown crops and, by extension, crops grown under cold-frames, hot caps, row tunnels and other types of covers. Use of greenhouses and growth cabinets as research tools in evaluating pesticide efficacy on field crops is included under those crops. Treatment of greenhouse soils and mixes is similar in principle to field soil treatment (Section 5.6.2), except that the smaller scale permits greater precision and uniformity. Greenhouses may also be used for precision studies on fungicide modes of action, phases of activity, and redistribution (46).

The greenhouse environment, however, is far from uniform. Light and temperature gradients often occur from the glass walls to the centre of the house. These gradients can readily be measured. Care must be taken to provide adequate replication and randomization of pots, trays or other container units. For soil-borne

diseases, keep the growth units separate and do not use tray-benches with common sub-unit irrigation. Likewise, if automated irrigation is used, its backflow prevention must be accident-proof for soil treatments. To ensure that foliar diseases develop, use overhead irrigation or misting and close spacing of plants in order to develop a closed canopy, thus creating a humid micro-environment that favors disease development.

In tests of fungicides in fluids applied as sprays or drenches, the principles of efficacy testing are much the same as for field trials. Because of the favorable growing environment for protected crops, fungicide applications may be at frequent intervals. Some diseases, however, may require three or more months for symptom expression even in the greenhouse and evaluations must allow for this period (46).

Frequent and regular greenhouse fungicide schedules may suppress disease symptoms for as long as the schedule is maintained. However, when an infected plant reaches the marketplace, disease can develop. Evaluation protocols should therefore include relatively long-term follow-up measurements of disease.

i) **Fumigation**

Since the greenhouse is an enclosed space, it is frequently sanitized aerially by fumigation chemicals. These may include fungicides active in the vapor phase (48,52). Where only one room is available, plants may be treated for test purposes in canopies placed over them for the treatment period, typically
6-48 hours, or placed in a treatment chamber and then returned to the bench. Any greenhouse that can be adequately sealed during fumigation can be used to test the volatile activity of fungicides (52).

Reference:

(52) Coyier, D.L. 1986. Testing procedures to determine the volatile activity of fungicides for control of powdery mildews in the greenhouse. Pp. 102-104 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(b) Interiorscapes

One of the fastest-growing areas of ornamental production is plants for homes, office buildings, and shopping malls where the environment may be substantially different from production greenhouses and nurseries. The far-ranging and rapid transport of container plants throughout the world potentially creates an equally far-ranging set of disease problems, and greatly increases the demand for pathogen-free plants. Latent infections are increasingly serious for both the end user and border officials (53,54).

Efficacy testing against diseases of interiorscape plants while in production in greenhouses or nurseries is the same as for other greenhouse and nursery plants. Registration for pesticides in interiorscapes is primarily a matter of meeting safety requirements to get a DOMESTIC (DOM) classification for chemicals previously registered in COMMERCIAL (COM) use. The actual efficacy testing can be done in greenhouses unless it is shown that this produces a different result than in the interiorscape.

References:

(53) Chase, A.R. 1986. Compendium of ornamental foliage plant diseases. A.P.S. Press, St. Paul, Minn. 114 pp.

(54) Howard, R.J. and A. Buonassissi. 1992. Diseases of interiorscape plants. Ch. 13, 26pp. *in:* Guidelines for the control of plant diseases in Western Canada, West. Comm. Plant Diseases.

(c) Mushroom Houses

i) **Commercial mushrooms** (*Agaricus bisporus*) are subject to diseases caused by fungi, bacteria, nematodes and viruses, and can also experience significant problems from competitive weed molds. Some of these diseases can be chemically managed.

Chemicals may be used to treat the spawn (the vegetative inoculum), the growing materials or the empty growing facilities. The spawn grains can be coated with a chemical to protect this cereal grain from being used as a food source by pathogens or competitive fungi. The growing materials or mushrooms could be treated with irrigation drenches or dusts at any time during the crop. The empty facilities (or parts thereof) may be disinfected with steam or sanitizers.

Efficacy tests may require the simultaneous treatment of several production rooms. The small number of plots (production units) may restrict the statistical inferences, although this may be partly offset by suitable subsampling techniques within each production unit. Subsampling may also be used to evaluate the disease and efficacy gradients within any production unit. Care should be taken to ensure uniform distribution of the test material in the production room.

Efficacy ratings should include not only the quantity of marketable mushrooms but the quality of these as well. Efficacy ratings may also include the count of non-marketable mushrooms.

Pesticide tolerance of the crop is a critical component of a mushroom pesticide evaluation. Rate, timing of application and mushroom strain (cultivar) are important aspects in a thorough assessment. An appropriate statistical design, taking into account the three-dimensional arrangement of production, and discrete applications to these subsample units within the production room can adequately assess the effect on a crop.

Crop tolerance ratings should include not only the effect on crop yield, the quality of the mushrooms harvested but also the timing to harvest.

ii) **Other mushroom species** are grown under conditions particular to the species. Efficacy and crop tolerance tests must be carried out separately for each species under the conditions appropriate for that species before claims can be established or put on the label.

References:

(55) Rinker, D.L. 1993. Commercial mushroom production. Ont. Min. Agric. Food and Rural Affairs, Publ. 350.

(56) Rinker, D.L. and P.J. Wuest. 1994. Mushrooms. Pp. 363-379 *in:* Howard, R.J., J.A. Garland and W.L. Seaman (eds.), Diseases and pests of vegetable crops in Canada. Can. Phytopath. Soc. and Entomol. Soc. Can., 554 pp.

5.6.6 Postharvest Treatments

(a) General

Postharvest diseases may be divided into two broad groups, those that develop from infections that occur in the field prior to harvest, and those which develop from infections or wounds permitting subsequent infections generated during harvest or pre-storage handling.

In general, any treatment that helps to produce disease- and blemish-free plants and produce can be considered part of a program to control postharvest problems caused by preharvest infections. Efficacy testing for such pesticides is already covered above under various types of field testing. Nevertheless, there are specific treatments aimed at controlling postharvest diseases as early as pre-planting treatment, e.g., bulb treatment for neck rot of onions. There are sprays applied at the end of blossoming against blossom-end rots expressed either in the field or in storage (56). Most treatments against preharvest infections, however, are applied in the preharvest period. All of these require evaluation in/and following storage.

It is important to understand what causes different postharvest diseases. Pathogens causing preharvest infections, whether trimmable or quiescent, tend to be host-

specific. Those that infect harvesting and handling wounds tend to have broad host ranges.

The major sources of variability in efficacy testing on produce are differences in maturity or curing of individual fruits or vegetables, and lack of uniformity in inoculation and pesticide application. Therefore, use 50-100 fruits or vegetables per treatment, a minimum of 10 per subsample, and a minimum of four replicates. Units of replication vary with the crop, the methods by which it is handled commercially, the type of treatment being applied, and the stage of testing. Final testing for registration applications should be on commercial-size lots (59).

Evaluations should be made at the time of treatment, at two or more intervals in storage, at the time of removal from storage, and in the marketplace. Some diseases are quiescent in cold storage, and only become a problem during shipping or marketing. Consequently, evaluation of the test should continue through a complete growing cycle, and perhaps an additional storage and growth cycle to determine the residual activity and phytotoxicity of the pesticide.

The pesticide should be tested with each type of equipment (hydro-coolers, dump tanks, tank washers, spray washers, brush cleaners, etc.) named in the label claim.

(b) Fruits and Vegetables

(i) Preharvest treatments

Preharvest treatments aim to minimize quiescent infections and destroy inoculum that can be carried with the crop and distributed during postharvest handling. These are mostly sprays applied and evaluated according to the same criteria indicated above for field crops, except that evaluation continues through storage. To prevent cross-contamination, wear disposable gloves for harvesting and handling, changing gloves after each treatment. Storage should be at temperatures, humidities and atmospheres appropriate for each crop. Preharvest treatments are used primarily where postharvest treatment is not practical, especially when produce is sold at the farm gate or local markets.

(ii) Postharvest treatments

Wet, or non-volatile, fungicides and bactericides may be applied in hydrocooling water, dump tanks, dips, drenches, sprays and waxes. Volatile pesticides may be applied as fumigants, vapors, fogs or smokes. Each type of application requires separate testing to establish label claims.

Select produce that has not been treated in the field, and measure its maturity before, during and after treatment and storage, as maturity usually

affects resistance to the pathogens.

It is important to simulate commercial conditions as closely as possible, including number, turbulence and duration of rinsings, brushing or other handling, air drying systems and durations.

Liquid treatments must wet thoroughly the often waxy surfaces of produce, for which reason a suitable surfactant is usually added (58). In pesticide combinations used to combat pesticide-resistant strains, each component must be tested separately, as well as together, and each treatment including the check must contain any surfactant or other additives used. Observe for either enhanced or diminished control with pesticide combinations, and for interactions with surfactants. In simulating commercial conditions, note the increase in spore levels resulting from recycling the water.

Testing must be done at appropriate air and fluid temperatures. Hot fungicides are more effective than cool ones, and their use should lead to reduced dosages. Otherwise, there is a risk of higher phytotoxicity (57,58). While greater penetration compensates for reduced dose, it can lead to increased residues. Heat tolerances of individual crops must be closely observed. In general, water used in cleaning, treating and grading operations for refrigerated produce is at least 5°C warmer than the incoming produce to prevent a pressure differential that would force water and inoculum into stem scars, lenticals and wounds. Whereas freshly harvested produce is usually hydrocooled in chilled water to remove field heat.

iii) **Solvent waxes**

Solvent waxes are applied at low volume and dry fast, allowing less time, less coverage and less penetration than water applications. Wax treatments are less effective at a given dose, and are usually not tested until water suspensions or solutions have been proven effective (57,58).

iv) **Fumigants**

Fumigants are tested in closed compartments, usually storage compartments. Care must be taken to ensure good spacing and adequate vapor mobility, and to reproduce commercial conditions (57,58).

v) **Micro-fumigation**

Micro-fumigation utilizes impregnated pads, foams or wraps to provide control in shipping cartons, both in storage and in shipment (57,58).

vi) **Root and Tuber Crops**

Root and tuber crops are cured after lifting, cleaning, trimming and air drying, prior to treatment and placing in storage. Care must be taken in efficacy testing to reproduce commercial curing since this greatly affects the healing of wounds and trimming cuts. Curing procedures are specific for each crop. Treatments need to take into account the end use of the crop, e.g., potatoes for seed or for the table, as this affects dosages, duration of required protection, storage conditions, pre-marketing intervals and permissible residues (58).

(c) Flowers and Foliage

For floricultural crops, testing during growth is conducted according to the same principles as other greenhouse crops, although acceptable levels of phytotoxicity and visible blemishes and spray deposits are more restrictive.

Storage problems for cut flowers and foliage are largely avoided by speed of delivery and cool temporary storage. For potted plants, latent or quiescent infections are increasingly serious as partially resistant strains become more frequent. However, these are a variant of greenhouse crops or interiorscape plants and testing is the same (Section 5.6.5).

(d) Seedlings, Bulbs and Other Propagative Units

Tests should closely simulate, or be done under, commercial conditions to be useful. Mold on forest seedlings and other fall-dug, fall-stored woody plants (ornamentals, fruit trees, shrubs) in storage has become a major problem because of the increasing length of storage periods, whether for bare-root or container-grown stocks (59). Increased production of container-grown stocks, which may contain incipient molds, is a contributing factor to this problem.

Tests to control storage rots of ornamental bulbs, corms, tubers, root segments, etc., should be conducted with 4-6 replicates and 50-60 bulbs per replicate to allow for variability between bulbs, inoculation and disease development (58). For efficacy testing, if natural infection is used, select apparently healthy bulbs from heavily diseased lots. For inoculation and for phytotoxicity tests, select healthy bulbs from disease-free lots. The principal disease ratings are taken at the end of storage, at the time of planting and at establishment about 30 days later. However, full testing requires evaluation through a complete growth cycle, a second storage period and the subsequent establishment period. Disease and phytotoxicity should be measured at both the flowering stage and at season-end bulb harvest (58).

References:

(57) Eckert, J.W. and G.E. Brown. 1986. Evaluation of postharvest fungicide treatments for citrus fruits. Pp. 92-97 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

(58) Eckert, J.W. and J.M. Ogawa. 1988. The chemical control of postharvest diseases: deciduous fruits, berries, vegetables and root/tuber crops. Ann. Rev. Phytopath. 26: 433-469.

(59) Meheriuk, M. and W.J. McPhee. 1984. Postharvest handling of pome fruits, soft fruits, and grapes. Agric. Can., Publ. 1768E, 50pp.

(60) Rosenberger, D.A., R.A. Spotts, W.S. Conway and K.S. Yoder. 1986. Evaluating fungicides for control of postharvest decay of pome fruits. Pp. 88-91 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

Table 1 **Summary of Field Data Required**

Information Required	Proposed Use Pattern								
	Soil	Seed	Foliar					Green House	Post Harvest
			Field Crops	Turf	Veg/ Fruit	Orchard	Forest		
Confirmation of Pathogen	I or A	I or A	N or A	N or A	N or A	N or A	N or A	I or A	I or A
Disease Assessment	E and S	E and S	S	S	S	S	S	E and S	S
Plant G.S. *	√	√	√		√	√	√	√	
Treatment Application Dates	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Phytotoxicity	√	√	√	√	√	√	√	√	
Yield	√	**	√		√	√	√	√ except ornamentals	
Quality			MY		MY	MY		MY	MY

I - isolation of pathogen before or after treatment
A - artificial inoculation (not necessary to re-isolate)
N - natural inoculum, estimated by disease incidence in untreated plants
E - emergence counts
S - disease symptom incidence and severity
MY - marketable yield, other quality factors
* - plant growth stage at time of treatment application and disease assessment
** - may be required, e.g., for smut.

Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
Pest Management Regulatory Agency

Dir96-01

Directive d'homologation

Lignes directrices pour l'évaluation de l'efficacité des fongicides, des bactéricides et des nématocides

Quiconque présente une demande d'homologation doit fournir des données sur l'efficacité pour étayer les usages proposés du produit. L'évaluation des données permet de garantir l'efficacité du produit aux fins prévues. La Directive d'homologation Dir93-07a contient des principes généraux sur l'évaluation de l'efficacité des pesticides chimiques.

La présente directive d'homologation fournit des lignes directrices particulières à l'évaluation de l'efficacité des produits chimiques utilisés pour la lutte contre les maladies végétales causées par les champignons, les bactéries, les organismes semblables aux phytoplasmes et aux mycoplasmes ainsi que par les nématodes.

La Directive est fondée sur le Projet de directive Pro95-02, daté du 8 août 1995, qui a été légèrement modifié à la suite des consultations publiques.

(also available in English)

Le 15 mars 1996

Ce document est publié par la Division de l'information, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec la :

Division de l'information
Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
Santé Canada
I.A. 6606D1
2250, promenade Riverside
Ottawa (Ontario)
K1A 0K9

Téléphone : (613) 952-5330
Télécopieur : (613) 736-3798
Service de renseignements : 1-800-267-6315
(au Canada seulement)
Internet : pmra_publications@hc-sc.gc.ca
www.hc-sc.gc.ca

Canada

Table des Matières

5.0 Fongicides, bactéricides et nématocides

5.1 Introduction 1

5.1.1 Comment utiliser ce document 1
5.1.2 Portée 2

5.2 Aspects généraux 2

5.2.1 Noms et termes 2
5.2.2 Allégations des étiquettes en ce qui concerne la lutte antiparasitaire 3
5.2.3 Étapes de développement des cultures 3
5.2.4 Données non canadiennes 3
5.2.5 Interactions et ensembles de maladies 4
5.2.6 Composantes de l'efficacité 4
5.2.7 Tolérance des cultures aux pesticides 5
5.2.8 Données de rapprochement et essais comparatifs 5

5.3 Méthodes d'essais 5

5.3.1 Substances à l'essai 5
5.3.2 Traitements témoins et cultivars représentatifs 6
5.3.3 Dose 6
5.3.4 Sélection des sites d'essai et taille des parcelles 6
5.3.5 Pression exercée par la maladie 7
5.3.6 Calendrier et fréquence des applications et combinaisons de pesticides 8
5.3.7 Pesticides appliqués avec des engrais et des inoculants 10
5.3.8 Plan expérimental 10

5.4 Évaluation des essais individuels 11

5.4.1 Validité des essais 11
5.4.2 Analyses statistiques 12
5.4.3 Évaluation de la tolérance des cultures aux pesticides 13

5.5 Évaluation du pesticide 14

5.5.1 Comparaisons d'essais différents 14
5.5.2 Présentation du rapport 14

5.6 Modes d'emploi particuliers 15

5.6.1 Généralités 15
5.6.2 Traitements des sols 17
5.6.3 Traitements des semences 21
5.6.4 Traitements en surface 24
5.6.5 Traitements dans les serres et autres endroits clos 37
5.6.6 Traitements après la récolte 40

Tableau 1 : Sommaire des données de terrain requises 46

5.1 Introduction

Le présent document constitue la partie 5 des *Lignes directrices pour l'évaluation de l'efficacité des pesticides chimiques*[1] qui décrit les principes généraux d'évaluation de l'efficacité des divers types de pesticides. Il est essentiel de bien comprendre les parties 1 et 2 des lignes directrices, surtout la section 2.1 sur les méthodes d'essais, pour utiliser la partie 5 à bon escient.

Référence :

1 Anon. 1993. Lignes directrices pour l'évaluation de l'efficacité des pesticides chimiques. AAC, Direction générale de l'inspection et de la production des aliments., Directive réglementaire 93-07a de la Direction de l'industrie des produits végétaux, 5 avril 1993. 12 pp.

5.1.1 Comment utiliser ce document

Veuillez noter qu'il s'agit de directives, et non de dispositions réglementaires, et qu'il faut s'inspirer des principes scientifiques dans leur application.

Les considérations d'ordre général, y compris l'applicabilité de données étrangères, sont discutées à la section 5.2; les méthodes d'essai sont décrites en détail à la section 5.3. L'évaluation des données est divisée en deux sections : la section 5.4, qui traite de la lutte contre les maladies et de la tolérance des récoltes sur la foi des essais individuels, et la section 5,5, où on trouve des suggestions concernant la comparaison de différents essais et l'évaluation de l'ensemble des résultats. Dans la section finale, section 5.6, on donne des profils d'utilisation plus spécifiques, par maladie importante ou culture importante. Les usagers n'ont qu'à consulter les profils d'utilisation qui s'appliquent à leurs récoltes.

On recommande de consulter le document à chaque grande étape de la préparation d'une demande d'homologation d'un usage important d'un pesticide. On peut s'en servir au début pour évaluer la qualité et le volume des données canadiennes et étrangères (sections 5.2, 5.4 et 5.5) extraites des bases de données, ou pour planifier un programme d'essais visant à recueillir les données nécessaires pour la demande d'homologation (sections 5.2 et 5.3) et à évaluer la validité et l'utilité des nouvelles données (sections 5.4 et 5.5). En dernier lieu, le document peut servir à préparer le rapport qui sera présenté à l'appui de la demande.

5.1.2 Portée

Ce document contient des directives sur l'évaluation de l'efficacité des produits chimiques utilisés dans la lutte contre les maladies végétales causées par des champignons (fongicides), des bactéries, des phytoplasmes et des mycoplasmes (bactéricides) ainsi que des nématodes (nématocides). Elles ne s'appliquent pas aux agents de lutte biologique, aux produits microbiens et aux virocides.

5.2 Aspects généraux

Le présent document s'appuie principalement sur l'ouvrage intitulé *Methods for Evaluating Pesticides for Control of Plant Pathogens*[2], dont les auteurs sont canadiens et américains. La publication *Manual for Field Trials in Plant Protection*[3] contient également de nombreux renseignements utiles.

Références :

2 Hickey, K.D. (ed.) 1986. Methods for evaluating pesticides for control of plant pathogens. APS Press, Amer. Phytopath. Soc. 312 pp.

3 Muller, G. and F.J. Schwinn (eds.) 1992 (3rd ed.). Manual for field trials in plant protection. CIBA-Geigy Ltd., Basle, Switz. 271 pp. (disponible chez CIBA-Geigy).

5.2.1 Noms et termes

Les noms communs des maladies et des plantes hôtes, et les noms scientifiques de leurs agents étiologiques doivent être conformes au *Compendium of Plant Diseases and Decay Fungi in Canada, 1960-1980*[6], aux *Noms des maladies des plantes au Canada*[4] et au *Guide to Plant Pathogenic Bacteria*[5]. Les noms scientifiques des agents pathogènes doivent inclure les noms de genre et d'espèce, sauf si plusieurs espèces du même genre produisent des symptômes et des dommages semblables, p. ex., fonte des semis causée par *Pythium* spp.

On trouvera dans Nutter et coll.[7, 8] des définitions des expressions anglaises concernant l'évaluation des maladies végétales.

Références :

4 Anon. 1992. Noms des maladies des plantes au Canada. Société de protection des plantes du Québec.

5 Bradbury, J.F. 1986. Guide to plant pathogenic bacteria. C.A.B. International Mycol. Inst., Kew, U.K. 332 pp.

6 Ginns, J.H. 1986. Compendium of plant disease and decay fungi in Canada 1960-1980. Publ. 1813, Res. Br., Agric. Can. 416 pp.

7 Nutter, F.W. Jr., P.S. Teng, F.M. Shokes. 1991. Disease assessment terms and concepts. Plant Dis. 75: 1187-1188.

8 Nutter, F.W. Jr., P.S. Teng, M.H. Royer. 1993. Terms and concepts for yield, crop loss, and disease thresholds. Plant Dis. 77: 211-215.

5.2.2 Allégations des étiquettes en ce qui concerne la lutte antiparasitaire

Chaque allégation que le titulaire désire inscrire sur l'étiquette doit être appuyée par de l'information scientifiquement valide. Il ne peut s'agir uniquement de preuves anecdotiques ou de témoignages, même si de telles preuves peuvent servir à étayer les données scientifiques.

Pour être admissible à l'homologation, le produit doit fournir un niveau de lutte phytosanitaire qui est avantageux pour l'utilisateur.

5.2.3 Étapes de développement des cultures

Lorsque le moment de l'application du produit chimique (voir la section 5.3.6) est fonction de l'étape de développement de la culture, il faut autant que possible renvoyer à des clés normalisées des étapes de croissance. On recommande fortement l'emploi du nouveau code décimal universel dénommé BBCH, d'après les noms des sociétés qui l'ont mis au point conjointement : BASF, Bayer, Ciba-Geigy et Hoechst[9]. L'échelle BBCH fournit une description universelle des étapes de croissance des cultures, notamment des plantes ligneuses et des mauvaises herbes, équivalentes du point de vue de la phénologie. Il s'agit d'une échelle Zadok modifiée pour l'appliquer à toutes les cultures et aux usages informatiques.

Les étapes de développement des cultures indiquées sur l'étiquette doivent également être descriptives.

Référence :

9 Lancashire, P.D., H. Bleiholder, T.v.d. Boom, P. Langeluddeke, R. Strauss, E. Weber, and A. Witzenberger. 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Ann. Appl. Biol. 119: 561-601.

Nota : le manuel de Ciba-Geigy[3] décrit et illustre également cette échelle.

5.2.4 Données non canadiennes

Lorsque c'est possible, les demandes d'homologation doivent se fonder sur des données canadiennes originales. Toutefois, les données d'autres pays sur l'efficacité

peuvent servir comme assise pour les essais d'un pesticide dans les conditions qui prévalent au Canada. Les requérants sont priés de s'adresser au gestionnaire des produits pour connaître le nombre d'essais canadiens requis. Les données étrangères qui ont été recueillies dans des conditions comparables à celles dans lesquelles le produit est destiné à être employé au Canada, et qui sont conformes aux exigences canadiennes, peuvent servir à étayer les demandes d'homologation canadiennes, surtout s'il s'agit de résultats d'études en ambiance contrôlée.

5.2.5 Interactions et ensembles de maladies

Certains symptômes de maladies peuvent être causés par plus d'un microorganisme qui agit de façon autonome ou par deux organismes ou plus qui agissent collectivement, par des agents pathogènes qui agissent selon un ordre séquentiel, p. ex., fonte des semis, et par des microorganismes qui agissent successivement au cours de la campagne, p. ex., la pourriture du collet de la luzerne. Dans d'autres cas, une légère infection par un organisme peut soit prédisposer un hôte à l'infection par un autre agent pathogène destructif, soit le protéger contre un deuxième agent pathogène.

Quel que soit le cas, il faut préciser sur l'étiquette et prouver par les résultats d'études en laboratoire ou au champ ou les deux présentés à l'appui de la demande d'homologation, quels sont les organismes touchés. Il ne faut pas prétendre que le produit peut maîtriser toutes les maladies d'un ensemble, à moins que les principaux composants n'aient été tous éprouvés séparément et collectivement.

Il arrive que les agents étiologiques d'une maladie soient transmis par un organisme vecteur. Dans ce cas, si la lutte antiparasitaire cible le vecteur, il faut consulter la section des lignes directrices qui traite du vecteur en question, p. ex., les insectes vecteurs sont traités dans la partie 5.

5.2.6 Composantes de l'efficacité

Plusieurs paramètres peuvent servir à mesurer l'efficacité des produits chimiques antiparasitaires. Parmi les mesures directes de l'intensité de la maladie, notons le nombre de plantes infestées, la gravité des symptômes chez chaque plante ou dans chaque parcelle, l'évolution des symptômes et le taux de survie des plantes. Parmi les paramètres indirects, notons la hauteur, le poids sec et le rendement brut, les facteurs de qualité comme l'apparence des graines ou des fruits, les caractéristiques relatives à l'entreposage, le rendement commercialisable ainsi que les populations d'agents pathogènes. On peut se servir de deux facteurs ou plus pour établir un indice de gravité de la maladie. En cas de doute sur les facteurs à utiliser, veuillez consulter le gestionnaire des produits.

Les requérants doivent démontrer qu'il y a eu augmentation du rendement ou de la qualité ou des deux à l'aide de mesures directes et indirectes et prouver que le traitement appliqué en est la cause.

5.2.7 Tolérance des cultures aux pesticides

Les requérants doivent déterminer les limites des doses du pesticide qui permettent de traiter l'hôte sans risque et indiquer quels symptômes apparaissent lorsque celles-ci sont dépassées. Comme le seuil de tolérance varie habituellement en fonction de l'étape de la croissance, les doses doivent être recommandées en fonction de l'étape en cours au moment de l'apport du produit chimique (directives supplémentaires à la section 5.4.3). Lorsque la formulation peut être utilisée sur une combinaison de cultures comme des pâturages mixtes ou des cultures abris, les seuils de tolérance de la ou des cultures associées devraient également être établis avant d'ajouter des allégations sur l'étiquette.

5.2.8 Données de rapprochement et essais comparatifs

Dans le cas des allégations concernant l'efficacité des nouvelles formulations et de l'ajout d'autres types de l'espèce en cause ou d'autres cultivars sur l'étiquette, il peut être suffisant de présenter des données de rapprochement plutôt que toute l'information exigée dans la demande originale (voir la section 2.1.15). Par exemple, si le vrai colza/canola est déjà inscrit sur l'étiquette et qu'aucun problème de tolérance au pesticide n'a été relevé, des essais de confirmation à quelques endroits représentatifs peuvent être suffisants pour ajouter la navette/canola sur l'étiquette.

On recommande toutefois au requérant de consulter le gestionnaire des produits avant de commencer de tels essais.

5.3 Méthodes d'essais

5.3.1 Substances à l'essai

La substance à éprouver doit être le produit formulé pour lequel on demande une homologation (voir la section 2.1.2). La substance à éprouver sera comparée à celles utilisées dans des traitements témoins, et, dans la mesure du possible, à un produit de référence. Le produit de référence sera le produit commercial le plus largement accepté à ce moment pour la lutte contre la maladie en cause. Si deux produits ou plus répondent à ce critère, on en choisira un à son gré comme produit de référence.

Toute substance ajoutée au moment de l'apport, comme les additifs, les enrobages et les adhésifs, doit d'abord être éprouvée séparément par le requérant. Si ces épreuves ne révèlent pas de problèmes, toutes ces matières peuvent être mélangées à la ou aux

matières actives et faire l'objet d'un traitement unique lors des essais subséquents et de ceux menés par des chercheurs indépendants.

S'ils sont connus, il faut communiquer le mode d'action et le taux de décomposition de la substance à l'essai aux chercheurs indépendants et les préciser dans la demande, parce que ces facteurs influent sur le calendrier et la fréquence d'application d'un pesticide.

5.3.2 Traitements témoins et cultivars représentatifs

Pour qu'un essai soit scientifiquement valide, les traitements antiparasitaires doivent être comparés à un témoin non traité. De plus, s'il existe un produit de référence, on s'en servira comme témoin de l'efficacité.

Il faut également utiliser au moins un des cultivars commerciaux les plus fréquents. De plus, il est souhaitable, en raison de la variabilité de la résistance des cultivars commerciaux, d'inclure dans certains essais des cultivars sensibles et résistants, s'il en existe.

5.3.3 Dose

Diverses doses du pesticide doivent être éprouvées, notamment des doses supérieures et inférieures à celles recommandées pour l'usage commercial (voir la section 2.1.3). En élaborant une échelle de dosage, on facilite la détermination des doses minimale et maximale recommandées. L'étiquette doit indiquer le moment et les taux d'application. On se sert également de cette échelle pour déterminer la probabilité d'effets phytotoxiques pour la culture. Les directives de l'étiquette doivent faire la différence entre une échelle de concentration appropriée à une application unique par campagne et celle applicable à des applications multiples, et indiquer la quantité maximale totale qui peut être appliquée au cours d'une même campagne.

Au besoin, veuillez consulter le gestionnaire des produits pour déterminer l'échelle des concentrations à éprouver.

5.3.4 Sélection des sites d'essais et taille des parcelles

Les conditions climatiques, le type et les conditions du sol, ainsi que les pratiques agricoles, peuvent avoir une incidence sensible sur l'efficacité d'un pesticide (voir la section 2.1.4). Il faut mener des essais à des sites représentatifs des principales conditions dans lesquelles le pesticide sera utilisé. Le nombre d'essais requis sera fonction de la combinaison culture/maladie. Le choix et le nombres de parcelles d'essai seront également fonction de la combinaison culture/maladie. En cas de doute, veuillez consulter le gestionnaire des produits.

En ambiance contrôlée, les principales variables à quantifier sont les substrats de croissance, la température, l'éclairement, le degré d'humidité et la durée des périodes d'humidité élevée. Pour l'entreposage en ambiance contrôlée, le débit d'air et la concentration des gaz atmosphériques sont également des facteurs importants à mesurer. On ne peut se servir que d'essais en ambiance contrôlée pour appuyer les demandes d'homologation d'utilisations sur le terrain. Ceux-ci sont toutefois utiles pour l'évaluation préliminaire des pesticides candidats, la sélection d'un ou de plusieurs pesticides pour des essais de terrain intensifs et la prestation de données d'appui.

On peut demander des résultats d'essais en ambiance contrôlée, et on peut même les exiger, lorsqu'il y a risque qu'une souche plus virulente que les populations endémiques s'échappe des parcelles. Dans de tels cas, les essais sur la tolérance au pesticide peuvent quand même être menés au champ, parce que la présence de l'agent pathogène n'est pas requise. Des essais en ambiance contrôlée sont requis pour l'homologation d'utilisations dans de telles conditions, p. ex., dans les serres et les champignonnières.

Afin de réduire la dérive entre les sites de traitement, il faut que le plan expérimental prévoit des rangs non traités entre ceux traités. On pourra y cultiver un cultivar plus grand ou plus compact ou des espèces plus résistantes à la maladie ou tolérantes à la pulvérisation. On pourra également se servir de barrières matérielles comme des feuilles de plastique, ou espacer davantage les parcelles pour augmenter la distance qui les sépare.

La taille des parcelles (voir les sections 2.1.5 et 2.1.6) variera en fonction de la combinaison culture/maladie à éprouver. Par commodité, les parcelles seront habituellement aussi petites que possible tout en assurant un développement adéquat de la maladie et en permettant la lutte efficace contre cette dernière. D'une part, plus la parcelle est grande, plus petite est l'interférence interparcelles. D'autre part, plus l'écart entre la manifestation de la maladie dans des parcelles adjacentes est grand, plus grands sont l'interférence interparcelles et le nombre de répétitions requis. Au cours des essais, l'étendue des options souhaitables sera normalement restreinte : des ambiances contrôlées aux grosses parcelles, en passant par les parcelles en pépinière ou petits champs. Les techniques de sous-échantillonnage sont adéquates pour l'évaluation des essais à grande échelle.

5.3.5 Pression exercée par la maladie

Il est essentiel que la maladie exerce une pression suffisante pour que les résultats des essais sur l'efficacité soient utiles. Il est souhaitable que, chez le traitement témoin, l'intensité de la maladie corresponde à ce que l'on observe généralement chez les cultures commerciales.

Il se peut que de fortes doses d'inoculum soient requises pour atteindre une intensité de maladie suffisante pour évaluer adéquatement l'efficacité du pesticide. Lorsqu'on se sert d'un inoculum naturel, il faut choisir judicieusement le site et vérifier les niveaux de l'inoculum avant les essais. D'une part, lorsqu'on se sert d'un inoculum naturel, il se peut qu'il soit nécessaire d'agrandir les sites afin d'augmenter le nombre de répétitions et de tenir ainsi compte de la variabilité des doses de l'inoculum sur la superficie des parcelles. D'autre part, si la concentration de l'inoculum est uniforme, les très petites parcelles ou traitements peu nombreux peuvent servir aux essais sur une superficie donnée. On peut également prévoir des bandes alternes d'un cultivar sensible à la maladie pour maintenir l'uniformité de l'inoculum d'une parcelle à l'autre, dans le cas des maladies polycycliques.

Un inoculum artificiel peut aider à surmonter ces problèmes expérimentaux sur le terrain. Parmi les méthodes d'inoculation, mentionnons la dispersion de débris végétaux ou de feuilles naturellement infectées ou de propagules produits artificiellement dans les parcelles, la pulvérisation de spores prélevées dans des champs ou des milieux de croissance artificiels infestés, et l'injection d'un agent pathogène directement dans des organes de la plante. En ambiance contrôlée, ou lorsqu'on doit utiliser des souches particulières d'un agent pathogène, on a habituellement recours à l'inoculation artificielle. Il faut prendre des précautions spéciales pour éviter les fuites lorsqu'on inocule des souches qui ne sont pas présentes au site d'essais, plus particulièrement lorsqu'il s'agit de souches virulentes ou d'agents pathogènes exotiques.

Au besoin, on prendra les mesures requises pour obtenir et maintenir des conditions environnementales qui favorisent un développement uniforme de la maladie, notamment la sélection de sites d'essais appropriés, l'irrigation, la pulvérisation en brouillard ou l'installation de minitunnels. Autrement, le site d'essais sera géré conformément aux pratiques commerciales acceptées dans la mesure du possible.

Il est préférable d'éprouver les ensembles de maladies à leur site naturel, car elles sont habituellement très difficiles à reproduire artificiellement. Il peut être nécessaire de continuer les essais pendant plusieurs années pour obtenir un nombre d'essais valides suffisant.

5.3.6 Calendrier et fréquence des applications et combinaisons de pesticides

Le mode d'application d'un pesticide influe souvent sur son efficacité (voir la section 2.1.7 sur les techniques d'application). De surcroît, le moment de l'application est souvent déterminant et peut être fonction de la saison, de l'étape de croissance, de la période précédant la récolte et du moment de la journée. Parfois, on tient également compte des périodes de dissémination des spores par l'agent pathogène ou de la durée des conditions atmosphériques propices à l'infection de l'hôte.

L'étiquette doit indiquer la saison ou les étapes de la croissance pendant lesquelles l'application est efficace, le nombre maximal d'applications pendant une campagne agricole donnée et soit la dernière étape de croissance qui requiert une application, soit le délai d'attente minimal en jours avant la récolte. Le calendrier des applications doit se fonder sur les étapes de croissance (voir la section 5.2.3) plutôt que sur les dates ou les mois de l'année, parce que les dates des étapes critiques de croissance varient selon l'endroit et la saison.

La fréquence et le nombre maximal d'applications du pesticide sont tributaires de la tolérance de la culture au pesticide, du cycle vital de l'agent pathogène, de l'induction chez ce dernier de la résistance résultant d'un emploi répété, de la durée de l'activité résiduelle du pesticide et des besoins en matière d'efficacité. Le délai d'attente avant la récolte dépend toutefois principalement de la vitesse d'altération ou de dissipation après l'application.

Les recommandations qui sont associées aux conditions météorologiques et au moment de la journée ciblent les périodes de sensibilité de l'hôte et d'exposition à l'infection, p. ex., durée des périodes d'humidité relative optimale, périodes de rosée, période pendant laquelle les feuilles sont mouillées ou périodicité diurne de dissémination des spores. On a mis au point des modèles prévisionnels pour certaines maladies, en quantifiant des facteurs semblables, p. ex., pour le mildiou de la pomme de terre, la tavelure des pommes et la brûlure de la feuille de l'oignon. Lorsque de tels modèles existent, il faut s'en servir pour les essais sur l'efficacité.

Une combinaison de pesticides s'entend de l'apport d'au moins deux produits. Il peut s'agir de formulations préparées par le fabricant, de mélanges en cuve, d'applications simultanées à partir de deux réservoirs à pulvérisation distincts (voir la section 2.1.13) ou d'applications séquentielles d'au moins un pesticide (voir la section 2.1.14). Lorsqu'on opte pour une combinaison de pesticides, on prendra soin d'en choisir au moins deux qui ont différents modes ou sites d'action ou qui sont appliqués en séquence alternée. Le pH doit être mesuré après le mélange. Des essais sur la combinaison doivent être menés avant de pouvoir la mentionner sur l'étiquette. Les données de rapprochement obtenues à la suite d'essais comparatifs peuvent toutefois être suffisants, parce que chaque matière chimique active de la combinaison aura été évaluée séparément dans la plupart des cas. Les essais comparatifs devront montrer la compatibilité physique des composants de la combinaison, l'absence d'effets secondaires et d'une phytotoxicité nouvelle ou plus intense. Il est recommandé de consulter le gestionnaire des produits.

Pour les combinaisons avec d'autres types de pesticides comme des produits insecticides ou insectifuges, chaque type doit être conforme aux lignes directrices applicables.

Des applications séquentielles peuvent comprendre des applications répétées d'un seul produit, d'une combinaison de produits ou de produits différents ciblant le même agent pathogène. S'il existe des conditions récurrentes propices à de nouvelles infections, ou lorsque la première application ne réussit pas à contrôler la maladie, il faudra peut-être répéter les applications. Les applications séquentielles peuvent occasionner les problèmes suivants : augmentation de la phytotoxicité et sélection de souches pathogènes résistantes au traitement. Dans le premier cas, il se pourrait que l'on doive appliquer une série de doses réduites et dans le dernier, qu'il faille mettre au point de nouvelles combinaisons ou d'autres produits ayant un mode d'action différent.

5.3.7 Pesticides appliqués avec des engrais et des inoculants

Les pesticides peuvent être utilisés en combinaison avec des engrais (voir la section 2.1.17) ou des inoculants. Ces derniers sont jugés être des engrais aux fins de la réglementation et sont donc visés par la *Loi sur les engrais* et son règlement d'application. Toutes les classes de composants doivent être éprouvées séparément et ensemble, et leur compatibilité et utilité doivent être prouvées. Ces composants doivent être homologués séparément. On consultera le gestionnaire des produits pour s'assurer que les types d'essais menés sont suffisants.

5.3.8 Plan expérimental

Les essais sur l'efficacité doivent être conçus de façon à ce que l'on puisse mener des analyses statistiques valides et pertinentes (voir la section 2.1.1). Tous les facteurs évalués jusqu'ici à la partie 5 doivent être pris en compte lors de la planification des essais sur l'efficacité[10]. Il est habituellement plus simple de conduire une série d'essais dont chacun évalue un facteur unique plutôt que d'éprouver plusieurs facteurs ensemble. Toutefois, la deuxième méthode est moins coûteuse et est essentielle pour montrer les interactions entre les facteurs.

Les objectifs des essais doivent être clairement définis et inclure seulement des traitements visant à atteindre ces objectifs, en plus de témoins adéquats (voir la section 5.3.2).

Le nombre de répétitions résulte habituellement d'un compromis entre le nombre optimal du point de vue statistique et la taille d'une parcelle ou le degré d'uniformité réalisables, p. ex., plus la parcelle est grande, plus le sol est variable. Il existe des méthodes pour calculer le nombre minimal de répétitions nécessaires pour détecter les différences entre les traitements dans diverses circonstances (voir Nelson[10] et les manuels cités). Quatre répétitions est le nombre le plus fréquemment utilisé. Si le nombre de répétitions est plus grand, les résultats ont plus de chance d'être reproductibles. Dans les expériences multifactorielles, certaines répétitions d'un niveau

de traitement peuvent être internes, ce qui réduit le besoin de répétitions externes. On doit faire tout ce qu'on peut pour s'assurer que l'essai est aussi uniforme que possible.

Pour vérifier le bien-fondé des plans expérimentaux, veuillez vous adresser à un statisticien ou consulter un compendium de plans expérimentaux appropriés[10].

Référence :

10 Nelson, L.A. 1986. Use of statistics in planning, data anaysis, and interpretation of fungicide and nematicide tests. Pp. 11-23 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

5.4 Évaluation des essais individuels

Chaque essai doit faire l'objet d'évaluations et d'analyses complètes. Il faut tirer des conclusions avant de pouvoir comparer les résultats de l'essai à ceux d'autres essais. Il faut déterminer qu'il s'agit d'un essai valide pendant lequel la maladie a exercé une pression suffisante, qui était exempt d'interférences externes, et soumettre les données à des analyses statistiques appropriées avant de pouvoir les utiliser dans d'autres évaluations qui serviront à étayer la demande d'homologation.

5.4.1 Validité des essais

Les résultats de tous les essais valides menés dans des conditions pertinentes doivent accompagner la demande d'homologation.

Un essai valide est un essai au cours duquel la maladie exerce une pression adéquate et pour lequel il n'existe, *a priori*, aucune raison de rejeter les résultats. Veuillez consulter les paragraphes qui suivent pour une explication plus complète.

Pour déterminer si un essai phytosanitaire est valide, il faut mesurer ou prendre en considération un certain nombre de facteurs, dont l'intensité de la pression qu'exerce la maladie (voir les sections 5.2.7 et 5.3.5), les conditions atmosphériques et d'autres facteurs externes.

Le principal facteur qui sert à déterminer si la maladie est assez grave pour évaluer les effets du pesticide est son intensité dans les parcelles témoins. Celle-ci peut être mesurée au moment de l'application du pesticide et à intervalles réguliers jusqu'à la récolte. Le nombre de mesures dépendra du nombre d'étapes principales de croissance et de développement de la maladie entre l'application et la récolte, et de la possibilité de détecter les symptômes après le début de la sénescence.

Parmi les raisons *a priori* justifiant le rejet de données, mentionnons les facteurs climatiques. En plus des calamités évidentes, comme la grêle, les ouragans, les inondations et le gel meurtrier (qui peuvent nécessiter la fin des essais ou le rejet des données ou les deux), les conditions atmosphériques peuvent avoir d'autres répercussions importantes sur les cultures et les données, p. ex., un léger gel peut causer des dégâts importants au moment de la floraison, qui peuvent passer inaperçus après deux semaines ou après la chute des fruits. Il peut être nécessaire de surveiller les conditions atmosphériques à tous les jours pendant les périodes critiques des essais. Le cas échéant, des sondes de mesure seront placées là où on effectue les traitements antiparasitaires, p. ex., parmi les graines semées dans le sol pour un essai sur un traitement des semences ou au niveau des branches d'un arbre fruitier. Il faut placer des sondes de référence dans un abri Stevenson standard pour pouvoir comparer les données recueillies sur les conditions atmosphériques aux registres météorologiques officiels.

La tenue de registres permettra de vérifier si l'établissement et le développement de l'hôte étaient normaux et de noter toutes les aberrations. Lorsque les parcelles ont subi l'action de facteurs externes, il faut les éliminer et appliquer des techniques statistiques correctives pour tenir compte des données manquantes.

Lorsque la maladie se développe de façon non uniforme dans la parcelle, il faut l'indiquer et, dans la mesure du possible, noter sa distribution sur une carte, afin d'identifier une source importante de variabilité, ou appliquer un plan expérimental en blocs. On s'efforcera de choisir des méthodes correctes d'évaluation.

Pour valider un essai, il se peut que l'on doive prouver que la substance à l'essai a atteint sa cible (organes particuliers de la plante), p. ex., à l'aide de colorants fluorescents, de bandes de papier sensible à l'eau ou d'autres moyens appropriés[3].

5.4.2 Analyses statistiques

Tous les tests valides doivent être soumis à des analyses statistiques appropriées au plan expérimental et aux résultats mesurés[10] (voir la section 2.1.11). Pour chaque essai, on doit faire une analyse adéquate et tirer des conclusions avant d'en comparer les résultats à ceux d'autres essais.

Par exemple, les données obtenues doivent être analysées conformément à leurs modes de distribution, c.-à-d., les variances homogènes ou qui suivent une distribution de type Poisson ou binomial ou un autre mode de distribution doivent être analysées à l'aide d'une méthode appropriée. L'efficacité des pesticides peut être quantifiée en comparant les courbes dose-réponse aux données[10, 13].

L'analyse de variance (ANOVA) et l'analyse ordinaire de régression des moindres carrés ne s'appliquent qu'aux réponses continues qui ne présentent ni un plancher ni un plafond théoriques (ni les deux). Ces méthodes courantes d'analyse ne sont pas adéquates pour les données discontinues, comme les dénombrements, le nombre de survivants par rapport au nombre exposé, ainsi que d'autres catégories. De plus, les tests des comparaisons multiples ne sont adéquats que s'il n'existe aucune structure chez les traitements[13], et il se pourrait que certains ne soient pas toujours jugés assez rigoureux. D'autres méthodes comme le test Waller-Duncan Bayesian, la plus petite différence significative « protégée » ou les contrastes orthogonaux peuvent être appliqués si les circonstances le justifient[10,11,13,14,15,16].

On notera qu'un niveau de signification de 5 p. 100 ou moins ($P<0,05$ ou $P=0,05$) est la norme en sciences, même s'il est arbitraire. Par ailleurs, on peut parfois se servir d'autres valeurs[12].

Références :

11 Baker, R.J. 1980. Multiple comparison tests. Can. J. Plant Sci. 60: 325-327.

12 Little, T.M. and F.J. Hills. 1978. Pp. 24-25 *in:* Agricultural Experimentation. J. Wiley and Sons, N.Y. 350 pp.

13 Little, T.M. 1981. Interpretation and presentation of results. Hortsci. 16:637-640.

14 Swallow, W.H. 1984. Those overworked and oft-misused mean separation procedures--Duncan's, LSD, etc. Plant Dis.68:919-921.

15 Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1960. Principles and Procedures of Satistics. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

16 Snedecor, G.W. and Cochran, W.G. 1980. Statistical Methods. 7th ed. The Iowa State University Press, Ames, Iowa. 507 pp.

5.4.3 Évaluation de la tolérance des cultures aux pesticides

La deuxième partie de l'évaluation d'un pesticide vise à déceler les dommages qu'il cause à la plante hôte (phytotoxicité), le cas échéant (voir la section 2.1.10b). Lorsque les doses recommandées n'endommagent pas l'hôte, il est souhaitable de les augmenter afin d'établir une marge de sécurité entre la dose maximale recommandée et le début de la phytotoxicité.

Il faut noter tout dommage ou anormalité et en mesurer l'intensité selon le pourcentage de la zone endommagée et la réduction de la hauteur, du poids ou du rendement de la plante. Toute déformation, altération de couleur, du nombre de tiges ou de feuilles et tout retard dans le développement et la maturation doivent être notés.

Lorsque l'on consigne les réactions phytotoxiques, il faut mesurer leur durée et les effets, p. ex., la phytotoxicité peut être de courte durée et n'avoir aucun effet sur le rendement ou la qualité, ou le pesticide peut procurer un avantage net malgré la phytotoxicité, ou les pertes peuvent justifier un ajustement de la dose ou l'emploi d'un autre pesticide.

Finalement, les différents cultivars d'une culture donnée peuvent montrer différents degrés de tolérance au pesticide. Toutes les demandes d'homologation doivent inclure les résultats d'essais sur des cultivars représentatifs qui sont utilisés commercialement à ce moment.

5.5 Évaluation du pesticide

Les conclusions sur l'efficacité d'un pesticide doivent être fonction des résultats d'une série d'essais (voir les sections 2.1.11 et 2.3). Il faut se servir des données de tous les essais valides pour tirer des conclusions.

5.5.1 Comparaisons d'essais différents

On peut analyser les données d'essais similaires pour déterminer dans quelle mesure ils sont semblables ou différents. Lors de la comparaison d'essais, il faut tenir compte des facteurs non comparables comme les divers sols, conditions atmosphériques, concentrations de l'inoculum, dépôts de brouillard et pratiques agricoles. Parmi les facteurs comparables, notons les traitements standard et témoins, les cultivars, les méthodes et les plans expérimentaux et d'inoculation.

Les demandes d'homologation doivent inclure des rapports sur les essais menés par tous les organismes, y compris ceux du fabricant et des chercheurs des secteurs public et privé. Tous les résultats publiés doivent être annexés à la demande.

Les résultats des différents essais doivent être consignés dans des tableaux de synthèse. Les résultats des essais individuels doivent être joints en annexe et numérotés. Les conclusions doivent être claires et il faut indiquer les méthodes d'application souhaitables, l'échelle des doses, le calendrier d'application et les restrictions. Chaque conclusion et chaque allégation inscrites sur l'étiquette doivent être étayées par les données présentées.

5.5.2 Présentation du rapport

(voir Dir93-07a, section 2.2, Communication des données sur l'efficacité)

Chaque rapport doit indiquer clairement les noms des maladies, des agents pathogènes et des matières qui seront inscrits sur l'étiquette du pesticide. Il faut joindre toute

l'information pertinente mentionnée à la section 2.2.3 des lignes directrices. Voici certains renseignements additionnels qu'il est important d'ajouter pour les produits servant à la lutte contre les maladies :

a) source de l'inoculum et méthode d'inoculation (naturelle, artificielle);
b) méthode d'évaluation de la maladie (p. ex., pourcentage de la superficie de la feuille montrant des lésions);
c) identification des témoins sélectionnés selon la section 5.2.2.

Veuillez consulter le sommaire des données de terrain requises au tableau 1.

On pourra s'inspirer du rapport de recherche sur la lutte antiparasitaire (*Pest Management Research Report*) pour la présentation des rapports sur les essais individuels.

5.6 Modes d'emploi particuliers

5.6.1 Généralités

Les évaluateurs doivent avoir une idée claire du type de lutte chimique qu'ils visent. Cela dépendra du mode d'action du produit chimique et du cycle vital de l'agent causant la maladie. Ces facteurs influeront sur le calendrier, la fréquence et les doses d'application. Les traitements peuvent être divisés en deux types : les traitements de protection et ceux d'éradication. Les pesticides prophylactiques ou de contact agissent principalement comme traitement de protection, non seulement en raison de leur manque de mobilité, mais également parce que le nombre de propagules pathogènes à éliminer est relativement faible au début de l'infection. Pour cette même raison, les pesticides systémiques sont également plus efficaces aux premiers stades de l'infection. Lorsqu'il en existe, on se servira de systèmes de surveillance et de prédiction des maladies commercialement acceptables, pour déterminer le moment d'application opportun.

a) Bactérioses

Les méthodes d'évaluation de l'efficacité des produits chimiques de lutte contre les bactéries pathogènes sont en principe très semblables à celles employées avec les champignons pathogènes. Par conséquent, les bactérioses sont traitées dans les sections portant sur les traitements des sols, des semences, en surface, dans les serres et après la récolte. Des méthodes particulières d'épreuve de l'efficacité des brouillards bactéricides en ambiance contrôlée et sur le terrain[17,18] et comme traitements du sol[19] ont été examinées. Pour de plus amples renseignements, veuillez consulter les références.

Références :

17 Beer, S.V. and J.L. Norelli. 1986. Evaluating spray materials to control fire blight: laboratory, greenhouse and field techniques. Pp. 134-142 *in:* Hickey, K.D.(ed.), *op.cit.*

18 Gitaitis, R.D., J.B. Jones and S.M. McCarter. 1986. Evaluation of chemical control of bacterial diseases of tomato. Pp. 205-209 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

19 Moore, L.W. 1986. Evaluating soil treatments for control of *Agrobacterium tumefaciens*. Pp. 273-276 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

b) Nématodoses

Les méthodes servant à évaluer l'efficacité des nématocides contre les maladies végétales causées par des nématodes ne sont pas en principe différentes de celles servant à évaluer les fongicides. Les méthodes de manutention et d'évaluation des populations de nématodes présentes dans le sol et les végétaux ont été longuement examinées[20,21,22], et les méthodes au champ ont été mises à jour[23].

Les expérimentateurs doivent déterminer s'ils ciblent des endoparasites sédentaires ou migrateurs, des ectoparasites ou d'autres types de nématodes, et mener des essais et des évaluations de suivi appropriés. Il s'agit avant tout de protéger les cultures par des applications simples ou fractionnées de nématocides et de mesurer l'effet immédiat et la durée de la protection.

Pour les applications foliaires, veuillez consulter la section 5.6.4 et pour les nématodoses terricoles, la section 5.6.2 ci-dessous. L'efficacité des nématocides ajoutés au sol peut varier sensiblement dans un même champ ou d'un champ à l'autre, en fonction de la variation de la texture et des teneurs en eau et en matières organiques. Il est par conséquent essentiel d'évaluer les sols où se situent les parcelles avant de commencer les essais et de choisir un plan expérimental qui tient compte de la distribution non uniforme des nématodes.

Références :

20 Brown, R.H. and B.R. Kerry (ed.s). 1987. Principles and practice of nematode control in crops. Academic Press. 447 pp.

21 Maloy, O.C. 1993. Plant Disease Control: Principles and Practice. J. Wiley and Sons Inc. New York, 346 pp.

22 Part X. Nematicide test procedures. 1986. Pp. 281-307 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

23 Part 5. Nematicide field trials. 1992. Pp. 227-237 *in:* Muller, G. and F.J. Schwinn (eds.). Manual for field trials in plant protection. CIBA - Geigy Ltd., Basle, Switz., 271 pp.

5.6.2 Traitements des sols

On peut diviser les traitements chimiques du sol en deux types : ceux précédant et ceux suivant les semis. Les pesticides de pré-plantation sont principalement des fumigants et agents stérilisants qui agissent comme biocides pour pasteuriser ou stériliser le sol, mais certains ont un effet nématocide sélectif.

Dans les petits champs, on se sert parfois de mélanges secs ou d'arrosages abondants pour incorporer des pesticides dans les sols avant la plantation. En ambiance contrôlée, cette méthode est très courante. Elle est généralement jugée inefficace au champ, parce que les microorganismes terricoles inactivent les produits chimiques et les particules d'argile les adsorbent ou les deux. Toutefois, avec les nouveaux granules à libération lente, l'incorporation avant la plantation pourrait être aussi utile pour lutter contre les maladies des semis qu'elle l'est déjà dans la lutte contre certains insectes.

Pour les traitements du sol subséquents à la plantation, on applique les pesticides par arrosage ou pulvérisations dirigées vers le pied ou sous forme de granulés, afin d'empêcher les épidémies soudaines, p. ex., de fonte des semis dans les pots et les caissettes de serres, pour lutter contre les maladies des racines, ou par injection dans la zone racinaire en vue de l'absorption des pesticides systémiques par les parties du végétal qui sont au-dessus du sol.

a) Injection dans le sol pour absorption par la racine

Ce type d'application est utile chez les arbres établis et les autres plantes ligneuses vivaces. On se sert dans ce cas de pesticides systémiques qui sont absorbés par les racines et transportés aux parties végétales infectées au-dessus ou au-dessous du sol. Avec cette méthode, le pesticide est habituellement appliqué dans la zone racinaire. Pour éviter l'absorption par les microorganismes de la couche superficielle et par la matière organique, le pesticide est inséré dans la zone racinaire juste sous la surface du sol par une série de trous percés sur le pourtour de l'arbre à l'aplomb de la ramure. Il s'agit d'une méthode spéciale d'arrosage du pied directement dans le sol.

b) Arrosage du pied et granulés

Il n'est pas utile de disperser des pesticides dans le sol pour lutter contre les maladies des racines et du collet, parce que la plus grande partie du produit chimique n'atteint pas sa cible. Il est adsorbé par la matière organique ou les particules d'argile ou s'attaque à des organismes non visés plutôt qu'aux agents pathogènes. La dispersion des pesticides par des arrosages du pied ou par l'enfouissement de granulés et de poudres dans le sol peuvent néanmoins être

efficaces dans les couches de semis, les autres couches, les pépinières, les serres, les contenants et avec les autres cultures de valeur élevée. Comme le type, la texture, le pH, la teneur en matières organiques et la profondeur du sol peuvent influer sur les résultats, il est essentiel de décrire minutieusement le sol, les préparations de sol et les caractéristiques passées du site[27].

L'incorporation d'un pesticide avant la plantation permet un mélange plus complet et profond des formulations sèches. Comme les propagules d'inoculum sont petites, une bonne incorporation ou pénétration du pesticide est essentielle.

La pulvérisation dans la raie de semis peut agir comme barrière entre l'agent pathogène et la base de la tige[26]. Les arrosages peuvent être faits avant ou après la levée, par vaporisation à la surface du sol ou dans l'eau d'irrigation, en volume suffisant pour détremper le sol à la profondeur requise ou en l'arrosant subséquemment[23,24,25,26]. Les produits chimiques devront peut-être être appliqués de façon à empêcher que les racines ne s'étendent à l'extérieur de la zone traitée pendant la phase vulnérable de la croissance[26].

Il faut déterminer l'indice de gravité de la maladie juste avant d'appliquer le pesticide et à des intervalles réguliers subséquents.

Références :

24 Johnson, A.W. 1986. Evaluating nematicides applied through sprinkler irrigation systems. Pp. 300-302 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

25 Johnston, S.A. and D. Hall 1986. Field evaluation of fungicides for control of Allium white rot. Pp. 194-196 *in:* K.D. Hickey (ed), *op.cit.*

26 Kroll, T.K. 1986. Field evaluation of fungicides for control of clubroot of Crucifers. Pp. 185-186 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

27 Nesmith,W.C. and C.W. Averre. 1986. Determining & reporting soil properties in fungicide & nematicide tests. Pp. 24-28 *in:* K.D. Hickey (ed), *op.cit.*

c) Chimigation

Les pesticides peuvent être mélangés à l'eau d'irrigation. L'étiquette du produit doit clairement indiquer que le pesticide peut être appliqué à l'aide d'un système d'irrigation. Par conséquent, le produit doit être éprouvé de façon adéquate sous irrigation avant d'inscrire des allégations à cet égard sur l'étiquette. Des lignes directrices sur l'apport de pesticides à l'aide de systèmes d'irrigation viennent d'être publiées[30]. Des méthodes ont été mises au point pour la recherche sur la lutte contre les maladies foliaires[29] et terricoles[24], notamment la fumigation du sol par chimigation avec un fumigant soluble dans l'eau[28].

La chimigation consiste à appliquer des fongicides et des nématocides en gros volume, ce qui la distingue des pulvérisations au sol ou aériennes standard de faibles volumes. Habituellement, seul 10 p. 100 du produit restera sur les feuilles comparativement à jusqu'à 90 p. 100 dans le cas des applications standard. On peut améliorer l'efficacité en améliorant la distribution des produits chimiques, en réduisant la quantité de l'inoculum principal dans les débris et le compactage du sol[27]. Par conséquent, l'efficacité d'un produit ajouté à l'eau d'irrigation est habituellement différente de celle du même produit appliqué à l'aide d'un brouillard standard. Il peut être nécessaire de fournir des données de rapprochement (données comparatives) entre la chimigation et les méthodes d'application traditionnelles.

Références :

28 Adams, P.B. 1986. Soil fumigation by chemigation with Metham. Pp. 270-272 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

29 Backman, P.A. 1986. Evaluating foliar fungicides applied through irrigation systems for control of peanut diseases. Pp. 221-223 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

30 Van der Gulik, T.W. 1993. Chemigation: guidelines for British Columbia. B.C. Min. Agric. Fish. Food and Irrigation Industry Assoc. B.C., 81 pp.

d) Fumigants

La fumigation du sol nécessite l'utilisation de produits chimiques qui sont actifs en phase vapeur. Les aspects essentiels pour tous ces produits sont leur incorporation ou injection complète à une profondeur suffisante. Le gaz doit bien pénétrer les particules de sol; il faut donc que le sol soit bien travaillé et aéré à des températures suffisamment élevées. Il faut que le gaz reste dans le sol pour la période requise. Pour ce faire, on utilisera une couverture étanche aux gaz ou on scellera la surface du sol par tassement ou avec de l'eau[21,28]. Le gaz doit ensuite être libéré en enlevant la couverture et, au besoin, en aérant le sol. Il peut être nécessaire d'analyser le sol pour détecter les résidus phytotoxiques du fumigant avant de semer ou de planter des cultures.

Une forte teneur en eau ou en argile (l'argile mouillée est presque étanche aux gaz), une faible température du sol et une injection ou incorporation trop superficielles peuvent restreindre l'efficacité du fumigant. Les limitations de l'efficacité peuvent également dépendre du type et de la densité des résidus de cultures présents dans le sol, des populations initiales de l'agent pathogène et de la porosité du sol. Si un inoculum subsiste en profondeur, il ne disparaîtra pas après le traitement et attaquera la nouvelle culture[31]. Par contre, si l'on se sert de fumigants qui agissent comme biocides ou agents stérilisants, la plus grande

partie de la microfaune et de la microflore du sol, antagonistes naturels des agents pathogènes, sera habituellement détruite. Cela créera un vide biologique qui permettra aux envahisseurs précoces ou plus efficaces de prospérer. S'il s'agit d'un ou de plusieurs agents pathogènes, les cultures subséquentes pourraient se trouver aux prises avec des problèmes nouveaux ou même plus graves.

Il peut être nécessaire de faire des évaluations de suivi de l'effet antiparasitaire et de la vigueur des plantes au cours de la campagne et peut-être pendant la campagne suivante. Par ailleurs, on a observé que la fumigation procurait parfois des avantages autres que la lutte contre la maladie ciblée, comme une augmentation du rendement plus grande que les pertes attribuables à la maladie. Les rendements obtenus doivent être comparés aux pertes de rendement estimées d'après l'indice de gravité de la maladie.

Référence :

31 Moore, L.W. 1986. Evaluating soil treatments for control of *Agrobacterium tumefaciens*. Pp. 273-276 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

e) Organismes non visés

Tous les types de traitement du sol, surtout les fumigants, les agents stérilisants et les biocides, peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes non pathogènes[33]. Il peut en particulier y avoir une diminution marquée des populations de microorganismes symbiotiques bénéfiques comme les mycorhizes[32] et les rhizobiums et des antagonistes des agents pathogènes comme *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp. et *Bacillus* spp. Il peut être nécessaire de mener des essais sur des organismes de ce type et on recommande aux requérants de consulter le gestionnaire des produits.

Références :

32 McGraw, A.-C. and J.W. Hendrix. 1984. Host and soil fumigation effects on spore population densities of species of Endogonaceous mycorrhizal fungi. Mycologia 76: 122-131.

33 Starr, J.L. and C.M. Kenerly, 1986. Nematicide evaluation as affected by disease complexes and nematicide effects on nontarget organisms. Pp. 305-307 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

5.6.3 Traitements des semences

On peut se servir de traitements des semences pour lutter contre les agents pathogènes terricoles et séminicoles. Le choix des produits chimiques et des taux d'application dépend du type de lutte requis. Pour les essais sur les maladies terricoles[34], on effectuera des essais préalables et on choisira des lots de semences montrant un bon taux et une bonne vitesse de germination et dont les plantules sont vigoureuses. Pour les maladies séminicoles, on choisira des lots montrant une fort pourcentage d'infection. Il faut préciser les méthodes de traitement des semences employées.

Les essais de germination en laboratoire doivent être menés immédiatement après le traitement, pour évaluer la phytotoxicité possible, et à intervalles appropriés subséquents, pour étayer les allégations sur la durée d'utilisation de la semence après le traitement.

Le moment et les conditions de semis influent souvent sur l'intensité de la maladie et doivent être indiqués. Il peut être utile de vérifier la température et l'humidité du sol, car celles-ci peuvent avoir une incidence sensible sur l'efficacité du fongicide et la germination. Il peut être nécessaire de mener des essais sur le traitement des semences lorsque la température du sol est basse, afin que la pression exercée par la maladie soit suffisante pour prouver l'efficacité de l'antiparasitaire.

L'établissement du peuplement constitue une bonne mesure de l'efficacité du traitement des semences. Des dénombrements périodiques des plantules mortes à la levée et après la levée peuvent faciliter l'étude de la progression de la maladie et l'évaluation de l'efficacité. Un retard de la levée peut être un symptôme de phytotoxicité. Pour les cultures semées à l'automne, on recommande des dénombrements des peuplements avant et après l'hiver. Les maladies systémiques continuent souvent à se manifester jusqu'après l'épiaison, ce qui nécessite des dénombrements plus tard au cours de la campagne. Il faut colliger des données sur le rendement pour montrer que les effets qui ont été observés sur l'établissement du peuplement valent également au moment de la récolte[34].

a) Maladies séminicoles

Les maladies séminicoles sont de deux types fondamentaux : celles dont l'agent pathogène est superficiel ou **à la surface**, et celles dont l'agent pathogène pénètre le tégument de la graine ou plus profondément, c.-à-d. qu'il s'agit d'un **endoparasite** ou d'une infection systémique.

Les graines infectées naturellement (10-30 p. 100) se prêtent aux essais sur la plupart des maladies, mais le nombre de semences éprouvées, la taille des

parcelles ou le nombre de répétitions doivent être augmentés au fur et à mesure que l'infection s'atténue, ou l'on peut avoir recours à des semences inoculées, selon la maladie évaluée. D'une part, si l'intensité de la maladie chez le témoin est trop faible, il est possible qu'on ne puisse détecter les écarts entre les traitements ou que les résultats donnent faussement l'impression que l'agent pathogène est bien maîtrisé. D'autre part, si l'intensité de la maladie est trop élevée, la formulation doit répondre à une sollicitation trop élevée ou on peut recommander une dose supérieure à la dose requise ou les deux (voir la section 5.3.5). La méthode d'inoculation doit être indiquée.

Le niveau acceptable de lutte contre la maladie est fonction de la maladie et de la destination de la culture, p. ex., l'élimination totale de la carie du blé n'est pas essentielle pour obtenir un bon rendement, mais elle l'est pour l'exportation.

b) Maladies terricoles

Comme dans le cas des maladies séminicoles, les maladies terricoles ne se manifestent pas tant que la graine n'est pas imbibée d'eau.

i) Fonte des semis

Les brûlures terricoles des graines et des semis, qui portent le nom collectif de **fonte des semis**, peuvent être causées par des agents pathogènes des trois principales classes de champignons. Les expérimentateurs doivent s'assurer que les agents pathogènes pertinents sont présents dans le sol ou les champs expérimentaux.

On remarquera que, comme le même champignon terricole peut causer aussi bien la fonte pré-levée que post-levée des graines et semis, on peut appliquer quatre moyens différents de mesure : la capacité de germination (mesurée *in vitro*), le pourcentage de germination dans le sol, le pourcentage de levée et le pourcentage d'établissement des peuplements (chez les plantules qui ont dépassé le stade de sensibilité à la fonte). Pour les tests sur l'efficacité, l'établissement du peuplement est le paramètre déterminant[35].

Lorsque les mêmes organismes causent la fonte des semis et la pourriture des racines, il n'est pas toujours possible de distinguer nettement entre les deux. La fonte des semis est jugée prendre fin lorsque la subérification des racines principales est suffisante pour empêcher la mort des plantules. Extérieurement, le symptôme de la tige allongée signale la transition de la fonte à l'établissement ou, si la pourriture du collet persiste, à cette dernière.

ii) **Pourritures du collet**

Un deuxième type de maladie terricole contre laquelle on peut lutter par un traitement des semences, est causée par des agents pathogènes qui infectent les semis, mais se manifeste sous forme de pourriture du collet des plantes sur pied, p. ex., la pourriture sèche du blé et de l'orge. La pourriture des racines peut se mesurer par l'incidence (nombre de plantes attaquées), la gravité (proportion des racines présentant des lésions ou pourries), le poids sec de la plante et le rendement grainier.

c) **Traitements combinés des semences**

Lorsque l'on traite les semences pour lutter à la fois contre les maladies séminicoles et terricoles, un choix judicieux peut permettre de restreindre le nombre de pesticides requis, c.-à-d., un pour chaque grande classe de champignons. Il faut toutefois faire attention d'éviter ou de limiter la phytotoxicité, puisque les semences sont de minuscules structures qui seront appelées à porter une charge complexe de pesticides, p. ex., au moins un fongicide et un insecticide ou un inoculant ou les trois. Les traitements comparatifs doivent inclure un produit de référence qui contient plusieurs composants du mélange à éprouver (p. ex., une formulation semblable, sauf qu'un des fongicides en est absent). Avec le traitement combiné, on peut observer un léger retard de la levée, toutefois, des plantes plus saines et un taux plus élevé d'établissement contrebalancent habituellement ce premier effet. Il est important d'évaluer les effets additifs des combinaisons, soit positifs, soit négatifs, sur la levée et la croissance des plantes (voir la section 5.2.7).

d) **Enrobage, granulation et semis en gel**

Les produits chimiques servant au traitement des semences peuvent être ajoutés à un matériel d'enrobage, comme la méthylcellulose, qui améliore leur rétention sur la graine. Les composants du mélange peuvent être appliqués en couches individuelles dans certains cas. Des produits chimiques peuvent également être ajoutés à un gel au moment des semis[34,35].

Références :

34 Mathre, D.E. and E.D. Hansing. 1986. Evaluating seed-treatment fungicides. Pp. 248-251 *in:* K.D. Hickey (ed), *op.cit.*

35 Sonoda, R.M. and S.C. Phatak. 1986. Screening fungicides for seed and seedling disease control in plug-mix and fluid-drilling plantings. Pp. 258-260 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op.cit.*

5.6.4 Traitements en surface

En général, les traitements en surface visent la prévention de l'infection par des spores ou d'autres propagules en les tuant à leur arrivée à la surface de la plante ou en éradiquant l'agent pathogène à un stade précoce de l'infection.

La capacité de dispersion de l'agent pathogène influe directement sur la taille des parcelles utilisées. Si des spores présentes dans des débris de cultures sont libérées et dispersées, principalement par des éclaboussures de pluie, on peut alors se servir de parcelles relativement petites. Si, par contre, les spores sont dispersées par le vent, il faudra non seulement des parcelles plus grosses, mais on ne pourra empêcher l'inoculation de parcelles, qui peuvent alors servir à déterminer la phytotoxicité ou l'efficacité des traitements ou les deux, que si l'on couvre la culture pour empêcher tout contact avec les spores pendant toute la pulvérisation. Si la dispersion est peu abondante, on pourra la limiter en plantant des rangs de garde d'espèces plus grandes et non sensibles.

Les chercheurs doivent mesurer quantitativement, à l'aide d'un indice de gravité de la maladie, les nouvelles inoculations ou nouvelles infections à la suite de l'application de composés fongistatiques. Il est clairement souhaitable qu'un produit chimique soit rémanent et procure une protection prolongée contre l'inoculation naturelle répétée.

En général, les essais doivent être conformes aux bonnes pratiques de gestion et de récolte courantes. Comme les champs de cultures vivaces montrent une plus grande variabilité que ceux de cultures annuelles, il faudra peut-être prévoir un plus grand nombre de répétitions (au moins six).

On aura peut-être besoin d'une irrigation additionnelle par aspersion pour garantir une teneur en eau et une humidité suffisantes et assurer ainsi un développement adéquat de la maladie[41]. En l'absence d'irrigation, il faudra effectuer des applications après les périodes très humides. Comme la durée de telles périodes ou la présence de feuilles mouillées ou les deux sont de meilleurs indicateurs de l'infection que les précipitations, on pourra consigner ces observations, ainsi que les températures ambiantes et la quantité de pluie, tout au long des essais.

Les applications foliaires seront surtout efficaces lorsqu'elles sont faites par temps sec et à des températures modérées, dépendant de la formulation. S'il pleut avant que le brouillard n'ait séché, il est probable que le produit sera lessivé. Si la température est élevée, les risques de phytotoxicité sont plus grands.

La saison de dormance, de la fin de l'automne à la fin de l'hiver, est souvent une période utile pour la lutte contre les maladies dont l'inoculum passe l'hiver dans l'écorce, les débris végétaux ou d'autres endroits relativement bien exposés. De tels traitements sont

aussi utiles dans la lutte contre les maladies qui ont cours durant les périodes d'infection printanières. Grâce à eux, on pourra également utiliser des doses plus concentrées ou des produits chimiques plus rémanents en raison du risque réduit de phytotoxicité et du délai d'attente plus long avant la récolte, pourvu que l'on tienne compte des préoccupations d'ordre environnemental.

a) Cultures annuelles de plein champ

La présente section traite des céréales, des oléagineux, des légumineuses à grain et des cultures fourragères annuelles et inclut les cultures annuelles d'hiver semées à l'automne et les cultures semées au printemps. Les conditions environnementales, les sols et les pratiques agronomiques varient beaucoup, et il est donc nécessaire de prévoir une vaste gamme de conditions pour les essais sur l'efficacité.

i) Types de culture saisonnières Les allégations de l'étiquette doivent préciser les espèces visées et si elles sont de type printanier ou hivernal. Toutefois, les essais sur l'efficacité sont les mêmes qu'il s'agisse de types printaniers ou hivernaux, sauf en ce qui concerne les traitements contre les moisissures des neiges appliqués à l'automne. Il se peut que des données de rapprochement (voir la section 5.2.9) soient suffisantes pour modifier l'étiquette des types printanier ou hivernal d'une espèce donnée. Le riz sauvage, céréale aquatique qui compte deux espèces au Canada, constitue le troisième type de culture. Il est distinct du point de vue biologique et environnemental des autres types de céréales. Pour l'instant, il n'existe aucun mode particulier d'emploi pour le riz sauvage.

ii) Cultures annuelles printanières

Les méthodes d'essais sur l'efficacité diffèrent peu pour les différentes cultures printanières annuelles. Il faut toutefois s'assurer que la maladie est suffisamment intense, et des manifestations caractéristiques de certaines maladies pourront nécessiter des mesures distinctes.

Chez les petites céréales, la dernière et l'avant-dernière feuille produisent la majorité des produits de la photosynthèse. Par conséquent, les systèmes d'indice se fondent souvent sur ces deux feuilles. Toutefois, comme de nombreuses maladies foliaires peuvent également attaquer les inflorescences, ces dernières doivent aussi être prises en compte pour établir l'indice. Il existe des clés servant à déterminer le pourcentage de la superficie des feuilles et des inflorescences qui est infectée[37]. Pour le maïs, il peut être nécessaire

d'évaluer les feuilles les plus vieilles et les plus basses, lorsque le traitement antiparasitaire des feuilles inférieures influe sur le développement subséquent de la maladie, ou lorsque des variations atmosphériques empêchent la propagation de la maladie vers les parties supérieures de la plante. Dans ce dernier cas, il est peu probable que les traitements aient un effet sur le rendement, mais on peut tout de même démontrer l'efficacité du pesticide en établissant un indice pour les feuilles inférieures. Une évaluation des feuilles n'est pas requise pour les maladies qui ne s'attaquent qu'aux inflorescences.

Les agents pathogènes qui causent des maladies du feuillage et des inflorescences ont habituellement des spores qui se dispersent très facilement, et il est alors souvent difficile d'empêcher l'inoculation répétée et continue des parcelles traitées. En plantant des espèces plus grandes et non sensibles à la maladie éprouvée dans des rangs de garde entre les bandes-échantillons de parcelles, on a pu réduire l'inoculation répétée. Par ailleurs, en plaçant des rangs de cultivars très sensibles entre les parcelles, on peut assurer une inoculation uniforme de ces dernières. Il faut toutefois prendre garde que cette méthode n'influe sur les témoins, ce qui donnerait des résultats erronés. En climat humide, il faudra peut-être faire des applications répétées de pesticides pour empêcher l'infection répétée des cultures. En climat sec où l'humidité n'est qu'occasionnellement suffisante au développement de la maladie, il faudra peut-être une nébulisation ou couverture des parcelles ou les deux comme source artificielle d'humidité, au moins durant l'inoculation artificielle. On maintiendra ces conditions aussi longtemps que nécessaire pour garantir l'infection par l'agent pathogène.

En ce qui concerne les dicotylédones, l'indice de gravité de la maladie se fonde habituellement, tout comme pour les céréales, sur les feuilles dont l'activité photosynthétique est supérieure. Les clés mises au point par James[37] pour estimer le pourcentage de la superficie des feuilles attaquées par la maladie (pour les céréales et les dicotylédones), sont utilisées à l'échelle internationale. Le début et la fin de la floraison sont les étapes de croissance les plus utiles pour établir l'indice de gravité de la maladie, car on peut obtenir une bonne corrélation respective entre chacune de ces deux étapes et la croissance végétative et reproductive[34,36]. Toutefois, l'utilité de l'étape est également fonction du type de maladie et de son développement. La dernière évaluation de la maladie se fait habituellement au début de la sénescence. On ne fait des évaluations ultérieures que si le développement de maladies après la sénescence influe sur la qualité. Par exemple, l'altération de la couleur causée par les microorganismes atténue la qualité brassicole de l'orge.

iii) **Cultures annuelles d'hiver**

Le seigle d'automne, le blé d'hiver et l'orge d'hiver sont semés à l'automne et sont menacés par de nombreux pathogènes. La lutte contre les maladies estivales se fait de la même façon que chez les cultures annuelles printanières. Les cultures annuelles hivernales sont également la cible de plusieurs moisissures des neiges dont les populations peuvent être hétérogènes. Les allégations concernant l'efficacité doivent préciser les agents pathogènes ciblés. La protection chimique doit durer jusqu'à six mois dans certaines régions du Canada. Certains fongicides peuvent également agir contre les agents pathogènes des maladies printanières résidant dans le sol, les résidus ou le chaume.

Les paramètres les plus utiles pour mesurer l'efficacité contre les moisissures des neiges sont, par ordre décroissant d'importance, le nombre de tiges fructifères ou d'inflorescences par unité de surface, le pourcentage du nombre de plantes établies (à environ quatre semaines après la reprise de la croissance au printemps) par rapport au nombre de plantes présentes au moment du traitement à l'automne, et le rendement. Ce dernier facteur mesure indirectement l'effet du traitement, mais c'est le meilleur indicateur des avantages économiques.

Références :

36 Frank, J.A. & H. Cole. 1988. Field evaluation for control of foliar diseases on small grains. Pp. 224-225 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

37 James, W.C. 1971. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. Can. Plant Dis. Surv. 51: 39-65.

38 Nesmith, W.C. 1986. Evaluating fungicides for control of foliar diseases of tobacco. Pp. 226-230 *in:* K.D. Hickey (ed.), *op. cit.*

b) Cultures vivaces de plein champ

La présente section traite de tous les types de graminées, de légumineuses et d'autres cultures vivaces herbacées de plein champ. Une graminée ou une légumineuse peuvent être cultivées comme fourrage en peuplements purs, pour le fourrage ou la graine en mélanges définis, mélangées à au moins une autre espèce dans des pâturages, ou en mélange sur les parcours et les terrains broussailleux, et seules ou en mélanges variés pour la remise en état et la stabilisation du sol. Les champs de semences peuvent être mis en pâture après la récole. On peut faire une évaluation préliminaire des fongicides et des

nématocides pour établir l'échelle des doses et les seuils de phytotoxicité en serre, tout comme pour les autres cultures[38].

i) **Maladies des feuilles, de la tige et de l'inflorescence**

Ces maladies des plantes vivaces répondent aux traitements chimiques. Pour obtenir de bons résultats, il faut faire tout particulièrement attention au stade d'infection et de développement de la maladie. Parmi les sources d'inoculum, notons les débris végétaux et le chaume de la récolte précédente. En éparpillant du foin ou des débris provenant de champs fortement infectés la campagne précédente, on peut inoculer facilement les parcelles d'essais. Il est préférable de le faire à l'automne afin que les sporophores immatures atteignent naturellement la maturité avant le printemps suivant. De surcroît, cette méthode est moins dépendante des conditions atmosphériques que la pulvérisation de conidies, qui sont relativement éphémères.

Les champs de plantes vivaces sont habituellement frappés par plusieurs maladies. Même lorsque l'on a choisi le site d'essais en fonction de la dominance de la maladie à traiter, il faut évaluer toutes les maladies présentes[33,39,41]. Avec les cultures faisant l'objet de fauches multiples, chaque récolte de fourrage ou étape de fauche doit être évaluée, en plus d'être récoltée.

Il est important d'adopter des pratiques agronomiques et des méthodes de récolte qui influent favorablement sur les facteurs de qualité et le prix[41].

ii) **Moisissures des neiges**

Les plantes vivaces sont attaquées par les mêmes moisissures des neiges que les céréales hivernales. La dominance relative des différents agents pathogènes des populations hétérogènes de moisissures changera probablement avec l'âge du peuplement, la profondeur de la couverture de neige et les pratiques agronomiques. Par conséquent, les mélanges de fongicides sont généralement plus efficaces que les composés simples. Les méthodes d'évaluation de l'efficacité sont les mêmes que pour les céréales, à l'exception des observations portant sur plusieurs saisons et des mesures de la qualité et du rendement du fourrage.

Références :

39 Orr, C.C. and C.M. Heald. 1986. Plant responses in the evaluation of nematode control agents. Pp. 297-299 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

40 Sanders, P. and H. Cole. 1986. *In vivo* fungicide screening on greenhouse-grown turfgrasses. Pp. 110-111 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

41 Stuteville, D.L. 1986. Methods for field evaluation of fungicides for control of foliar diseases of alfalfa. Pp. 210-211 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

c) Gazon

Les maladies du gazon peuvent être maîtrisées par des fongicides, des nématocides ou des fumigants appliqués avant les semis (voir la section 5.6.2c). Les peuplements de gazon sont très uniformes comparativement aux autres cultures, notamment celles des mêmes espèces de graminées qui sont cultivées pour la semence ou comme fourrage, ce qui permet d'utiliser de petites parcelles, p. ex., 1 m^2, tant que l'inoculum est uniforme.

Le vert d'un terrain de golf moderne est une forme relativement artificielle de gazon, qui est cultivé surtout sur du sable. Il fait également l'objet de soins beaucoup plus intensifs que les autres types de gazon. Ce type de gazon est plus sensible aux doses excessives de pesticides, plus rapide à montrer des symptômes de phytotoxicité et à mourir que le gazon cultivé sur du sol. Par conséquent, il faut être plus précis et soigneux lors de l'application de pesticides, et observer plus fréquemment et minutieusement les symptômes de toxicité qu'avec les autres types de gazon. De surcroît, dans de telles conditions, les agents pathogènes ont de plus fortes chances de produire des souches résistantes, à moins que les fongicides appliqués aient différents modes d'action.

Les autres types de gazons d'agrément peuvent être groupés aux fins des essais sur l'efficacité. Toutefois, les pratiques de gestion et le type de sol sous-jacent peuvent avoir des effets marqués sur l'occurrence et la maîtrise de la maladie. On peut évaluer les dommages au gazon et les méthodes de lutte en estimant le pourcentage de la superficie de la parcelle qui a été endommagé ou en traçant sur une carte et en mesurant l'étendue des dommages, à l'aide d'un planimètre, ou la qualité et la couleur, et en établissant un indice de gravité des dommages. Il peut être utile de mesurer la température du sol pour évaluer les maladies des racines comme le piétin-échaudage du gazon, p. ex., à une profondeur de 5 cm à 14 h. La capacité du gazon de se régénérer à partir de talles profondes, c.-à-d., sa vitesse de récupération, est également touchée par les traitements et doit être évaluée à intervalles déterminés au préalable. Il faut également évaluer le temps requis pour que le gazon se rétablisse complètement.

Dans les régions où le sol gèle, il est essentiel que les traitements soient appliqués au préalable. Il faut également que les essais incluent des traitements

qui sont appliqués aussitôt qu'il y a gel la nuit, parce que certains des organismes dénommés moisissures des neiges s'activent une fois que le gazon entre dans la phase dormante, et causent la plus grande partie des dommages avant le gel. La date de début, la durée, le compactage et la profondeur de la couverture de neige, ainsi que la température à la surface du sol, ont des effets sensibles sur les dommages causés par les moisissures des neiges. Il faut donc surveiller toutes ces variables[42].

Des ensembles d'agents étiologiques peuvent s'accumuler avec le temps dans les gazons, certains ayant un effet synergique et d'autres agissant à différentes étapes de la saison. L'effet des traitements sur les autres maladies présentes doit être évalué. Les traitements peuvent être bénéfiques, ou, en maîtrisant certaines maladies, ils peuvent créer un vide biologique qui permet à un autre agent pathogène, jugé insignifiant, de causer des dommages considérables[42]. On se servira des systèmes prévisionnels des maladies qui existent.

Références :

42 Smiley, R.W., P.H. Dernoeden and B.B. Clarke. 1992 (2nd. ed.). Pp. 80-82 *in:* Compendium of turfgrass diseases. APS Press, Amer. Phytopath. Soc., 98 pp.

43 Smith, J.D. 1987. Winter-hardiness and overwintering diseases of amenity turfgrasses with special referrence to the Canadian prairies. Agric. Can. Res. Br., Tech. Bul. 1987-12E, 193 pp.

d) Légumes et fruits de plantes herbacées

Les essais au champ de légumes et de fruits de plantes herbacées s'inspirent des mêmes principes que ceux des autres cultures de plein champ. Comme les plants individuels de légumes sont généralement plus gros que ceux de céréales ou de graminées, la taille des parcelles peut être établie en fonction d'un nombre minimal de plantes. Celle-ci peut dépendre à son tour du nombre de plantes requis pour obtenir un échantillon valable et du nombre d'échantillons qui ont été prélevés pendant la campagne. Au fur et à mesure que les plantes grossissent, leur nombre par échantillon ou parcelle diminue. Pour les gros légumes, p. ex., pommes de terre, cucurbitacées ou melons, la taille minimale d'un échantillon est de 5 à 10 plantes pour un minimum de 20 à 40 plantes par parcelle. Pour les espèces plus petites, p. ex., carottes, oignons ou fraises, les parcelles pourraient être constituées de rangs d'une longueur minimale de 5 m. S'il y a lieu, les cultivars pour le marché du frais et la transformation doivent être éprouvés.

Les parcelles peuvent être séparées par des rangs de garde de plantes non traitées pour réduire au minimum la dérive du brouillard, à moins qu'il y ait

risque que la maladie ne devienne si intense qu'elle envahisse les rangs traités. On peut utiliser des parcelles constituées de rangs simples lorsque le risque de dérive des spores ou du brouillard est faible, mais les parcelles carrées chevauchant plusieurs rangs sont préférables lorsque soit les spores soit le brouillard risquent de dériver. Lorsqu'on se sert de parcelles de trois rangs ou plus, les rangs extérieurs serviront de rangs de garde traités et les rangs intérieurs, qui sont exempts des effets en bordure, serviront à l'échantillonnage, à l'évaluation et à la récolte.

Lorsque les producteurs fondent leur calendrier de pulvérisation sur les conditions atmosphériques ou sur des systèmes qui les prédisent, certains essais sur l'efficacité doivent se fonder sur les mêmes paramètres.

Pour évaluer la maladie, on ne s'appuiera pas uniquement sur une mesure directe des symptômes, mais également sur la qualité de certains facteurs comme la petitesse, les imperfections, les pourritures et autres défauts [44]. La baisse de qualité peut être plus importante du point de vue économique qu'une diminution de volume. Le rendement signifie le rendement commercialisable, à moins que l'on ne le précise autrement. Toutefois, le rendement brut et le rendement de chaque classe commerciale peut également être mesuré. Chaque récolte doit être classée, évaluée et entreposée séparément.

Dans le cas des légumes et des fruits de plantes herbacées, l'évaluation de l'efficacité et de la toxicité peut continuer après la récolte, car la maladie et les traitements peuvent influer sur l'entreposage et même sur le goût. Les évaluations des maladies des légumes entreposés dans des conditions commerciales ou comparables doivent être faites à intervalles appropriés.

Référence :

44 Howard, R.J., J.A. Garland and W.L. Seaman (eds.). 1994. Diseases and pests of vegetable crops in Canada. Can. Phytopath. Soc. and Entomol. Soc. Canada, Ottawa, Ont. 554 pp.

e) Fruits de vergers, d'arbustes et de vignes

Les essais menés dans les vergers sur les fruits d'arbres, d'arbustes et de vignes sont planifiés en suivant les mêmes principes que pour les autres essais au champ. Étant donné la grande taille des plants établis, il se peut que l'on ait besoin d'aussi peu qu'un arbre bien établi par parcelle. Pour éviter les problèmes d'échelle et de répétition dans le cas des gros arbres, il est possible d'effectuer des essais en serre sur l'efficacité des fongicides sur des arbres et

arbustes en pots de 1 à 10 ans, ou encore d'utiliser des inflorescences détachées[36,37]. Ces techniques fonctionnent également bien pour les essais préliminaires sur l'efficacité qui visent à déterminer les doses ou les concentrations.

Dans les vergers, il faut se servir de bonnes pratiques de gestion commerciale, notamment l'élagage annuel et avant les essais, ce qui favorise l'établissement et le maintien d'un couvert de faible densité qui permet la pénétration en profondeur du brouillard, stimule la production de nouveau bois dans la partie inférieure de la plante et favorise l'établissement d'un cadre sain pour la production à long terme. L'élagage commercial judicieux permet de conserver deux fois plus d'arbres et d'arbustes que normalement pendant les premières années d'essais, et de réaliser les essais plus tôt et de façon plus intensive en doublant la production et en maintenant un microclimat plus favorable au développement de la maladie[46]. Il favorise également la densité et, par le fait même, l'efficacité des rangs tampons.

Pour certaines maladies s'attaquant aux vergers, p. ex., la tavelure de la pomme[47], on a mis au point des systèmes prévisionnels qui se fondent sur les conditions atmosphériques. Pour que ceux-ci soient efficaces, il est essentiel de savoir quand les périodes d'infection se produisent et de connaître la durée de la période d'incubation et la gravité des infections subséquentes. On peut observer des retards considérables dans le développement des symptômes, qui occasionnent des retards de l'évaluation, p. ex., jusqu'au printemps suivant pour l'infection des bourgeons, tandis que les infections des fleurs peuvent apparaître en aussi peu que deux jours. Une fois les calendriers de pulvérisation établis, veuillez consulter un spécialiste local de la lutte antiparasitaire.

Les essais initiaux au champ peuvent être faits à l'aide de lances en éprouvant des arbres individuels ou des demi-arbres ou des vignes avec répétitions. Toutefois, les vergers commerciaux sont généralement traités à l'aide de pulvérisateurs à jet porté. Il faudra peut-être concevoir un modèle sur mesure pour les essais sur l'efficacité[47]. On a recommandé que les parcelles traitées par jet porté comprennent au moins cinq arbres et cinq répétitions. D'autres chercheurs utilisent une à trois parcelles avec quatre répétitions. La taille des parcelles d'un verger expérimental dépend partiellement de la taille des arbres. Des rangs tampons doivent être placés entre les rangs traités parce que les pulvérisateurs à jet porté répandront le brouillard sur une distance considérable, même par temps calme[47].

Comme les arbustes, les vignes et les plantes vivaces herbacées sont cultivés en rangs, l'unité d'essai est un rang de quelques mètres qui sera fonction de l'espace occupé par un nombre minimal de plantes. Dans certains cas, les rangs

peuvent être si près l'un de l'autre qu'on ne peut plus distinguer les plants individuels, ce qui peut nuire à l'évaluation des pesticides systémiques.

Il peut être nécessaire d'évaluer l'efficacité contre les maladies des racines et du collet chez les porte-greffes seuls et les cultivars commerciaux greffés. Comme pour toutes les maladies des parties ligneuses des arbres et des arbustes, l'évaluation des effets du traitement peut prendre deux ans ou plus.

Les bactéricides sont habituellement évalués indépendamment des fongicides, même si on peut se servir d'un fongicide ou d'un insecticide ou des deux comme traitement de fond afin d'isoler la bactériose. On recommande fortement une évaluation préliminaire des matériels à l'essai sur des plantules ou des fruits immatures, afin de réduire au minimum le nombre d'inoculations et de sites traités avec une maladie virulente[47]. Lorsque les fleurs subissent un traitement, on fait souvent des inspections et des évaluations de la maladie et de la phytotoxicité à intervalles de deux jours[46].

On peut établir un indice de gravité de la maladie avec aussi peu que 20 ramifications terminales par parcelle ou par arbre, pourvu qu'elles soient sélectionnées de manière aléatoire. Cela permet de réaliser une évaluation précise de chaque ramification terminale. On peut compter le nombre de fruits, de feuilles et de noeuds (lorsque la chute des fruits ou des feuilles est un symptôme de la maladie) et établir différents indices à des étapes différentes de la campagne. Les indices doivent prendre en compte la taille des rameaux, des ramifications ou du tronc frappés par la maladie et le type de produit utilisé[47].

On se doit d'évaluer le rendement en fruits et la qualité. Le rendement commercial est le facteur principal et il inclut des observations visuelles de la qualité. Pour obtenir des renseignements complets sur l'efficacité du fongicide, on mesurera le rendement brut, le rendement pour chaque classe commerciale et les facteurs de qualité. Ces derniers varient selon l'usage prévu et diffèrent selon que le produit est destiné à la fabrication de jus de fruits frais, à la transformation, au séchage et, dans le cas des raisins, à la fabrication de vin chez lequel on peut observer des effets sur les levures fermentatives, le vieillissement et le développement du bouquet.

Références :

45 Jones, A.L. and G.R. Ehret. 1986. Field evaluation of fungicides for control of diseases on tart cherries. Pp. 120-124 *in:* K.D. Hickey (Ed.) op. cit.(46) Szkolnik, M. 1986. Investigating physical modes of action of tree fruit fungicides. Pp. 98-101 *in:* K.D. Hickey (ed.)

46 Chase, A.R. and D.D. Brunk. 1986. Evaluating fungicides for control of foliar diseases of foliage plants. Pp. 240-243 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

47 Szkolnik, M. and K.D. Hickey. 1986. Testing chemical sprays on blossoms of deciduous fruit trees. Pp. 112-115 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

f) Pépinières et plantations de plantes à cycle court

Dans les pépinières, les plantations d'arbres forestiers et d'arbres de Noël et pour le matériel cultivé en contenants à l'extérieur, il faut parfois produire des plantes exemptes de défauts et de tailles déterminées au préalable. Les arrosages abondants et apports de fumigants ou de granulés avant la plantation (section 5.6.2) sont souvent utilisés pour éliminer les maladies et les nématodes terricoles présents à l'origine[39]. Lorsque le sol n'est pas traité, les semences le sont (section 5.6.3). Les principes de l'évaluation de l'efficacité des cultures de pépinières sont très semblables à ceux applicables aux légumes, aux plantes herbacées et aux cultures de verger.

La phytotoxicité est une préoccupation constante en ce qui concerne les cultures de pépinière, parce que celles-ci sont jugées et mises en marché en fonction de leur apparence[48]. Leur santé et vigueur, qui sont interdépendantes, sont également primordiales pour maximiser la survie des plants repiqués. Les infections latentes qui causent la maladie seulement après le repiquage sont, à l'échelle de l'industrie, un problème qui commande la production de plantes exemptes de maladie. L'objectif est donc d'atteindre une efficacité totale. Toutefois, les applications répétées de pesticides qui sont requises peuvent engendrer la résistance de souches des agents pathogènes.

Les méthodes d'essais ne doivent pas seulement permettre l'évaluation de l'efficacité, mais aussi celle de la phytotoxicité, de la vigueur, des infections latentes et de la présence de souches résistantes. Les infections latentes peuvent être causées par des souches résistantes de l'agent pathogène dont l'activité est supprimée par des mesures prophylactiques routinières, mais qui peuvent se développer lorsque la lutte est allégée après le repiquage.

Pour évaluer la phytotoxicité, il faut appliquer des doses plus élevées. Pour les maladies foliaires, les essais doivent prévoir de deux à quatre applications par mois pendant trois à six mois. Les indices doivent évaluer l'efficacité et la phytotoxicité. L'indice le plus approprié peut ne se manifester qu'après la fin des essais. Il faut se servir de photographies pour étayer les échelles qualitatives et améliorer la reproductibilité des essais[48].

Références :

48 Chase, A.R. and D.D. Brunk. 1986. Evaluating fungicides for control of foliar diseases of foliage plants. Pp.240-243 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

49 Sutherland, J.R., G.W. Shrimpton and R.N. Sturrock. 1989. Diseases and insects in British Columbia forest seedling nurseries. FRDA Rep. 065, Can./BC Econ. Reg. Dev. Agrmt. and B.C. Min. For., 85 pp.

g) Brise-vent, aménagement paysager et parcs

Les arbres et arbustes servant de brise-vent, les aménagements paysagers, les parcs et autres endroits publics sont la cible d'un éventail de maladies, dont certaines peuvent être maîtrisées par des fongicides ou des bactéricides commerciaux homologués. De même, il se peut que l'apport de produits chimiques soit requis pour lutter contre les maladies des plantes herbacées ornementales vivaces et annuelles.

Il se peut toutefois que les essais dans des lieux publics ne soient pas acceptables et doivent être relégués à des endroits dont l'accès est restreint. Dans ce cas, on éprouvera les mêmes espèces et cultivars que ceux cultivés dans les lieux publics.

Les méthodes d'essais sur l'efficacité, en ce qui concerne les plantes ornementales des endroits publics, sont semblables à celles utilisées dans les vergers, les pépinières et les jardins maraîchers. La grande taille de certains arbres pose des problèmes d'ordre pratique, et l'usage de pesticides en milieu public soulève des préoccupations à l'égard du risque. Ainsi, il est préférable de réaliser les essais sur de telles combinaisons cultures/maladies dans des pépinières ou des plantations.

h) Injection dans des arbres

L'injection de pesticides sert à la lutte contre des maladies attaquant des arbres distincts de grande valeur économique ou esthétique. Dans son sens restreint, **injection** s'entend de l'introduction de liquides par le truchement d'un appareil sous pression, soit faible (seringues, réservoirs de pulvérisateurs de parterre, sacs se vidant par gravité) ou forte (réservoirs de N, de CO_2 ou d'air comprimé). L'absorption passive de liquides par divers types de blessures est appelée **infusion**.

La pénurie de méthodes standard soulève certains problèmes. Avec toutes les méthodes d'injection, il faut infliger une blessure à l'arbre, qui réagit alors en

bouchant ses vaisseaux, parfois dans les heures qui suivent, empêchant ainsi toute absorption subséquente. De surcroît, l'absorption et le transport ne se font pas de la même façon pour chaque pesticide, et chacun peut être transporté de manière différente des colorants qui sont souvent utilisés pour suivre les mouvements internes[50].

L'infusion ou l'injection dans des racines latérales (voir la section 5.6.2a) donne la distribution la plus uniforme des composés dans l'arbre. Plus le site d'injection est haut, moins l'absorption est prévisible[47].

Les essais sur l'efficacité sont les mêmes que pour les autres arbres, sauf en ce qui concerne la méthode d'application. Si les pesticides sont appliqués au début de l'infection, on pourrait observer une rémission des symptômes foliaires qu'il importe de noter. La méthode la moins coûteuse est l'évaluation visuelle. On se servira alors de photographies standard pour illustrer les différentes classes et assurer la cohérence et la fiabilité des évaluations d'une année à l'autre[51].
Lorsque l'on traite des arbres fruitiers, on doit tenir compte de l'apparence, du goût et du rendement commercialisable des fruits. On pourra mesurer la vigueur des arbres d'après l'élongation des rameaux, le diamètre du tronc, la hauteur et le nombre de ramifications[51].

Références :

50 Lacy, G.H. 1986. Evaluating chemicals for tree infusion or injection to control diseases caused by mycoplasmalike organisms. Pp. 266-269 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

51 Stipes, R.J. and R.J. Campana. 1986. Introducing and evaluating liquid fungicides in elm trees for the control of Dutch Elm Disease. Pp. 261-265 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

i) Parcours et forêts

À l'heure actuelle, la lutte chimique antiparasitaire a peu d'intérêt sur les parcours et dans les forêts. On peut consulter la partie 3 sur les herbicides pour connaître les méthodes adaptées à ces endroits.

j) Aires domestiques

Les jardins, les cours, les aménagements paysagers et autres aires pour usage privé ne peuvent être traités qu'avec des pesticides homologués pour USAGE DOMESTIQUE (DOM). La différence entre l'homologation DOMESTIQUE et COMMERCIALE (COM) réside dans des préoccupations à l'égard de l'innocuité et des résidus plutôt que de l'efficacité ou de la phytotoxicité. Les

méthodes d'évaluation de l'efficacité sont par conséquent les mêmes que celles susmentionnées pour les légumes, les fruits et les plantes ornementales.

5.6.5 Traitement dans les serres et autres endroits clos

a) Serres, tunnels et minitunnels

La présente section traite des cultures semées en serre et, par extrapolation, des cultures cultivées en couches froides, sous cloches, minitunnels et autres types de couverture. L'utilisation de serres et de chambres de croissance pour la recherche sur l'évaluation de l'efficacité des pesticides au champ est traitée dans les sections sur les cultures de plein champ. Le traitement des sols et des mélanges pour serre est semblable en principe à celui des sols des champs (section 5.6.2), sauf que la superficie plus petite permet une plus grande précision et uniformité. Les serres peuvent également servir aux études de précision sur les modes d'action des fongicides, les phases d'activité et la redistribution[46].

L'environnement de la serre est toutefois loin d'être uniforme. Les gradients de température et d'éclairement sont fréquents entre les parois extérieures de verre et le centre de la serre, mais peuvent être facilement mesurés. Il faut toutefois s'assurer de prévoir suffisamment de répétitions et de randomiser la sélection des pots, des caissettes et autres contenants. Pour les maladies terricoles, on séparera les unités de croissance et on ne se servira pas de banquettes-plateaux avec sous-unité commune d'irrigation. De même, si l'on se sert de l'irrigation automatisée, le dispositif anti-retour intégré devra être à l'épreuve des accidents en ce qui concerne les traitements du sol. Pour garantir le développement des maladies foliaires, on se servira d'aspersion ou de nébulisation en hauteur et on gardera les plantes rapprochées pour former un couvert fermé, et créer ainsi un microenvironnement humide qui favorise le développement de la maladie.

En ce qui concerne les essais sur les fongicides sous forme liquide qui font l'objet d'une pulvérisation ou d'un arrosage abondant, les principes des essais sur l'efficacité sont les mêmes que pour les essais au champ. Étant donné l'environnement favorable à la croissance des cultures protégées, les applications de fongicides peuvent se faire à intervalles rapprochés. Les symptômes de certaines maladies pourraient toutefois prendre au moins trois mois à se manifester, même en serre. Les évaluations doivent donc être planifiées en conséquence[46].

Les applications fréquentes et régulières de fongicides en serre peuvent supprimer les symptômes de maladies aussi longtemps qu'elles sont maintenues.

Toutefois, la maladie peut se manifester lorsqu'une plante infectée arrive au marché. Les protocoles d'évaluation doivent donc prévoir des mesures de suivi de la maladie à relativement long terme.

i) **Fumigation**

Comme la serre est un endroit clos, on en aseptise fréquemment l'air à l'aide de produits chimiques de fumigation. Ceux-ci peuvent inclure des fongicides qui sont actifs en phase vapeur[48,52]. Lorsque la serre ne comprend qu'une seule pièce, les plantes éprouvées peuvent être recouvertes pour la période de traitement, qui dure en général de 6 à 48 heures, ou placées dans une chambre de traitement avant d'être replacées sur la banquette. Toute serre qui peut être scellée adéquatement pendant la fumigation peut servir à évaluer l'activité volatile des fongicides[52].

Référence :

52 Coyier, D.L. 1986. Testing procedures to determine the volatile activity of fungicides for control of powdery mildews in the greenhouse. Pp. 102-104 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

b) Aménagements intérieurs

L'un des domaines de production ornementale en croissance rapide est celui des plantes d'intérieur utilisées dans les maisons, les immeubles de bureaux et les centres commerciaux, dont l'environnement peut être sensiblement différent de celui des serres et des pépinières de production. Le transport rapide à l'échelle du globe de plantes en contenants peut entraîner une série de problèmes phytosanitaires d'envergure et accroître grandement la demande de plantes exemptes d'agents pathogènes. Les infections latentes causent des problèmes de plus en plus graves tant pour l'utilisateur final que pour les inspecteurs aux postes frontaliers[53,54].

Les essais sur l'efficacité contre les maladies des plantes d'intérieur produites en serres ou en pépinière sont les mêmes que pour les autres plantes de serre et de pépinière. Pour homologuer des pesticides pour plantes d'intérieur, on doit essentiellement satisfaire les exigences en matière d'innocuité applicables à la classe DOMESTIQUE (DOM), pour des produits chimiques qui étaient auparavant homologués pour emploi COMMERCIAL (COM). Les essais sur l'efficacité peuvent être réalisés en serre, à moins que l'on ne relève un écart par rapport aux résultats des essais menés à l'intérieur.

Références :

53 Chase, A.R. 1986. Compendium of ornamental foliage plant diseases. A.P.S. Press, St. Paul, Minn. 114 pp.

54 Howard, R.J. and A. Buonassissi. 1992. Diseases of interiorscape plants. Ch. 13, 26pp. *in:* Guidelines for the control of plant diseases in Western Canada, West. Comm. Plant Diseases.

c) Champignonnières

i) Champignons commerciaux

Les champignons commerciaux (*Agaricus bisporus*) sont menacés par des maladies causées par des champignons, des bactéries, des nématodes et des virus, et peuvent également présenter de graves problèmes résultant de la concurrence de moisissures nuisibles. La lutte chimique peut maîtriser certaines de ces maladies.

Les produits chimiques peuvent servir à traiter le blanc de champignons (inoculum végétatif), le matériel en croissance et les installations de croissance vides. Les grains de céréales servant d'hôte pour l'implantation du blanc peuvent être enduits avec un produit chimique pour éviter qu'ils ne soient utilisés comme source d'aliments par les agents pathogènes ou les champignons qui lui livrent concurrence. Le matériel en croissance ou les champignons peuvent être traités par irrigation abondante ou poudrage à n'importe quel moment pendant la campagne. Les installations vides (ou une partie) peuvent être désinfectées à la vapeur ou aseptisées.

Des essais sur l'efficacité pourraient nécessiter le traitement simultané de plusieurs pièces de production. Le petit nombre de parcelles (unités de production) peut limiter les inductions statistiques, mais l'emploi de techniques de sous-échantillonnage adéquates dans chaque unité de production peut en partie compenser cette lacune. Le sous-échantillonnage peut également servir à évaluer les gradients de maladie et d'efficacité à l'intérieur de chaque unité de production. Il faut prendre soin d'assurer une distribution uniforme du matériel à l'essai dans la pièce de production.

Les indices de l'efficacité ne doivent pas seulement tenir compte de la quantité de champignons commercialisables, mais également de leur

qualité. Les indices de l'efficacité peuvent également prendre en compte le nombre de champignons non commercialisables.

La tolérance de la culture aux pesticides est un aspect déterminant de l'évaluation des pesticides dans les champignonnières. La dose, le moment de l'application et la souche de champignon (cultivar) sont des facteurs dont il faut tenir compte dans une évaluation complète. On peut évaluer adéquatement l'effet sur la culture en choisissant un plan statistique approprié qui tient compte de la disposition tridimensionnelle de la production et des applications discrètes aux unités de sous-échantillonnage de la pièce de production.

Les indices de tolérance des cultures ne doivent pas seulement se fonder sur l'effet sur le rendement et la qualité de la récolte de champignons, mais aussi sur le moment de cette dernière.

ii) **Autres espèces de champignons**

D'autres espèces de champignons sont cultivées dans des conditions particulières à l'espèce. Les essais sur l'efficacité et la tolérance des cultures doivent être menés individuellement pour chaque espèce, dans des conditions qui lui sont adaptées, avant de pouvoir prouver des allégations ou les inscrire sur l'étiquette.

Références :

55 Rinker, D.L. 1993. Commercial mushroom production. Ont. Min. Agric. Food and Rural Affairs, Publ. 350.

56 Rinker, D.L. and P.J. Wuest. 1994. Mushrooms. Pp. 363-379 *in:* Howard, R.J., J.A. Garland and W.L. Seaman (eds.), Diseases and pests of vegetable crops in Canada. Can. Phytopath. Soc. and Entomol. Soc. Can., 554 pp.

5.6.6 Traitements après la récolte

a) Généralités

Les maladies qui apparaissent après la récolte peuvent être réparties en deux grands groupes, celles qui découlent d'infection qui se produisent au champ avant la récolte et celles qui découlent d'infection ou de blessures qui entraînent des infections subséquentes engendrées pendant la récolte ou la manutention avant l'entreposage.

En général, tout traitement qui favorise la production de plantes, de fruits et de légumes exempts de maladies et d'imperfections est jugé faire partie d'un

programme de lutte contre les problèmes se manifestant après la récolte et résultant d'infections présentes avant la récolte. On a déjà parlé plus haut des essais sur l'efficacité de tels pesticides, en fonction du type d'essais au champ. Néanmoins, il existe certains traitements particuliers de lutte contre des maladies qui se manifestent après la récolte, qui peuvent même être appliqués avant la plantation, p. ex., traitement des bulbes contre la pourriture du collet de l'oignon. Certains brouillards sont pulvérisés à la fin de la floraison pour la lutte contre les pourritures apicales soit au champ soit en entrepôt[56]. La plupart des traitements contre les infections précédant la récolte sont toutefois appliqués à ce moment. Dans tous les cas, il faut faire des évaluations en entrepôt et après l'entreposage.

On doit saisir les causes des différentes maladies qui se manifestent après la récolte. Les agents pathogènes qui causent des infections avant la récolte, qu'elles puissent être parées ou soient quiescentes, ont tendance à ne s'attaquer qu'à un seul hôte. Ceux qui infectent les blessures subies à la récolte ou durant la manutention ont tendance à avoir un large éventail d'hôtes.

Les principales sources de variabilité des essais sur l'efficacité chez les fruits et les légumes sont les différences au niveau de la maturité ou du séchage des différents fruits et légumes ainsi que le manque d'uniformité au niveau de l'inoculation et de l'application du pesticide. Par conséquent, on traitera entre 50 et 100 fruits ou légumes, au moins 10 par sous-échantillon, avec au moins quatre répétitions. Les unités de répétition varieront selon la culture, les méthodes de manutention commerciale, le type de traitement et l'étape de l'évaluation. Les essais finaux pour les demandes d'homologation seront menés dans des parcelles de taille commerciale[59].

Des évaluations seront réalisées au moment du traitement, à deux reprises ou plus en entrepôt, au moment du départ de l'entrepôt et au marché. Certaines maladies sont quiescentes en entrepôt frigorifique et ne deviennent un problème que pendant l'expédition ou la commercialisation. Par conséquent, l'évaluation des essais doit se poursuivre pendant un cycle complet de croissance, et peut-être même pendant un cycle additionnel d'entreposage et de croissance, pour déterminer l'activité résiduelle et la phytotoxicité du pesticide.

Le pesticide doit être éprouvé avec chaque type d'équipement (refroidisseurs à eau glacée, réservoirs jaugeurs, cuves de lavage, pulvérisateurs-laveurs, nettoyeurs à brosse, etc.) mentionné sur l'étiquette.

b) Fruits et légumes

i) Traitements avant la récolte

Ils visent à réduire au minimum les infections quiescentes et à détruire l'inoculum qui peut être transporté avec la culture et disséminé pendant la manutention après la récolte. Il s'agit principalement de brouillards appliqués et évalués d'après les critères susmentionnés pour les cultures au champ, sauf que l'évaluation se poursuit pendant l'entreposage. Pour empêcher la contamination croisée, on portera des gants jetables pour la récolte et la manutention, et on changera de gants entre chaque traitement. La température, le degré d'humidité et l'atmosphère de l'entrepôt doivent être adaptés à chaque culture. Les traitements précédant la récolte sont surtout utilisés lorsqu'un traitement après la récolte est peu commode, principalement lorsque les fruits et les légumes sont vendus à la ferme ou aux marchés locaux.

ii) Traitements après la récolte

Pour ces traitements les fongicides et les bactéricides liquides ou non volatils peuvent être appliqués dans des refroidisseurs à l'eau glacée, des réservoirs jaugeurs, par trempage, par arrosage, par pulvérisation ou comme enduit cireux. Les pesticides volatils peuvent être appliqués sous forme de fumigants, de vapeurs, de fumées ou de brouillards. Chaque type d'application nécessite des essais distincts pour vérifier les allégations de l'étiquette.

On choisira des fruits et des légumes qui n'ont pas été traités au champ et on mesurera le degré de maturité avant, pendant et après le traitement et l'entreposage, car celui-ci influe habituellement sur la résistance aux agents pathogènes.

Il est important de reproduire le plus exactement possible les conditions commerciales, notamment le nombre, la turbulence et la durée des rinçages, des brossages ou des autres manipulations, les systèmes et la durée du séchage à l'air.

Les traitements liquides doivent imbiber en profondeur les surfaces souvent cireuses des fruits et des légumes; c'est pour cette raison que l'on ajoute habituellement un surfactif approprié[58]. Chaque composant des combinaisons de pesticides qui servent à lutter contre des souches résistantes à des pesticides doit être éprouvé séparément et en mélange, et chaque traitement, y compris le témoin, doit contenir les surfactifs ou autres additifs utilisés. On vérifiera si les combinaisons antiparasitaires intensifient ou atténuent l'efficacité et s'il y a interaction

avec les surfactifs. Pour reproduire les conditions commerciales, on notera l'augmentation des spores résultant du recyclage de l'eau.

Les essais doivent être menés à des températures de l'air et de l'eau appropriées. Les fongicides sont plus efficaces à chaud qu'à froid, et l'utilisation de produits chauds devrait permettre de réduire les doses. Sinon, on risque d'intensifier la phytotoxicité[57,58]. Une pénétration plus profonde compense la réduction de la dose, mais peut également entraîner une augmentation des résidus. Les seuils de tolérance à la chaleur des cultures individuelles doivent être surveillés de près. En général, l'eau servant aux opérations de nettoyage, de traitement et de classement des fruits et des légumes réfrigérés sera au moins 5 °C plus chaude que le produit reçu, afin d'empêcher qu'une différence de pression force l'eau et l'inoculum dans les cicatrices de la tige, les lenticelles et les blessures. Les fruits et les légumes fraîchement récoltés sont habituellement refroidis à l'eau glacée pour abaisser la chaleur après l'arrivée du champ.

iii) **Cires solubles**

Elles sont appliquées en faible quantité et sèchent vite, ce qui réduit leur rémanence, la superficie couverte et la pénétration par rapport aux applications à l'eau. Les traitements à la cire sont toutefois moins efficaces pour une même dose et ne sont habituellement éprouvés que lorsque l'inefficacité des suspensions et des solutions aqueuses a été démontrée[57,58].

iv) **Fumigants**

Ils sont éprouvés dans des compartiments fermés, servant le plus souvent à l'entreposage. Il faut prendre garde de prévoir un espacement suffisant et une mobilité adéquate de la vapeur et de reproduire les conditions commerciales[57,58].

v) **Micro-fumigation**

Elle consiste à utiliser des tampons, des mousses plastiques ou des emballages imprégnés pour fournir une protection dans les boîtes utilisées pour l'entreposage et le transport[57,58].

vi) **Cultures racines et tubercules**

Elles sont séchées après l'arrachage, le nettoyage, la taille et le séchage à l'air, avant le traitement et l'entreposage. Il faut que les essais sur l'efficacité reproduisent les conditions de séchage commercial, puisque celles-ci ont une forte incidence sur la guérison des blessures et des

coupures causées par la coupe. Les méthodes de séchage sont adaptées à chaque culture. Les traitements doivent tenir compte de la destination finale de la culture, p. ex., pommes de terre de semence ou de consommation, car celle-ci a une incidence sur les doses, la durée de protection requise, les conditions d'entreposage, les délais d'attente avant la commercialisation et les résidus admissibles[58].

c) Fleurs et feuillage

En ce qui concerne la floriculture, les épreuves menées pendant la croissance s'inspirent des mêmes principes que pour les autres cultures de serre, mais les niveaux acceptables de phytotoxicité et les seuils de tolérance des imperfections visibles et des dépôts de brouillard sont plus rigoureux.

Les problèmes d'entreposage des fleurs et du feuillage coupés sont grandement réduits par la vitesse de livraison et l'entreposage temporaire au frais. Pour les plantes en pots, les infections latentes ou quiescentes prennent de plus en plus d'importance, car les souches partiellement résistantes sont de plus en plus fréquentes. Par ailleurs, il s'agit de types de cultures de serre ou de plantes d'intérieur, et les essais sont donc les mêmes (section 5.6.5).

d) Plantules, bulbes et autres organes de multiplication

Pour être utiles, les essais doivent reproduire étroitement les conditions commerciales ou être réalisés dans de telles conditions. Les moisissures qui s'attaquent aux plantules d'arbres forestiers et à d'autres plantes ligneuses repiquées et entreposées à l'automne (plantes ornementales, arbres fruitiers, arbustes) causent de nos jours de graves problèmes en raison des périodes de plus en plus longues d'entreposage, qu'il s'agisse de matériel à racine nue ou cultivé en contenants[59]. La production accrue de matériel cultivé en contenants, qui peut recéler des moisissures, contribue au problème.

Les essais de lutte contre les moisissures des bulbes, des cormes, des tubercules, des segments de racines, etc. entreposés de plantes ornementales doivent faire l'objet de 4 à 6 répétitions à raison de 50 à 60 bulbes par répétition, pour permettre l'expression de la variabilité entre les bulbes, l'inoculation et le développement de la maladie[58]. Pour les essais sur l'efficacité utilisant l'infection naturelle, on choisira des bulbes qui semblent sains dans des lots de bulbes fortement attaqués par la maladie. Pour les essais sur l'inoculation et la phytotoxicité, on choisira des bulbes sains dans des lots exempts de maladie. Les principaux indices de gravité de la maladie sont déterminés à la fin de l'entreposage, au moment de la plantation et de l'établissement environ 30 jours plus tard. Toutefois, pour des essais complets, il faudra mener une

évaluation d'un cycle entier de croissance, d'une deuxième période d'entreposage et de la période subséquente d'établissement. La maladie et la phytotoxicité doivent être mesurées à l'étape de la floraison et de la récolte des bulbes à la fin de la campagne[58].

Références :

57 Eckert, J.W. and G.E. Brown. 1986. Evaluation of postharvest fungicide treatments for citrus fruits. Pp. 92-97 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op. cit.*

58 Eckert, J.W. and J.M. Ogawa. 1988. The chemical control of postharvest diseases: deciduous fruits, berries, vegetables and root/tuber crops. Ann. Rev. Phytopath. 26: 433-469.

59 Meheriuk, M. and W.J. McPhee. 1984. La manutention des fruits à pépins, des fruits fragiles et des raisins. AAC, Publ. 1768F.

60 Rosenberger, D.A., R.A. Spotts, W.S. Conway and K.S. Yoder.1986. Evaluating fungicides for control of postharvest decay of pome fruits. Pp. 88-91 *in:* K.D. Hickey (ed.) *op.cit.*

Tableau 1
SOMMAIRE DES DONNÉES DE TERRAIN REQUISES

Information requise	Mode d'utilisation proposé								
	Sol	Semences	Feuilles					Serres	Après la récolte
			Cultures de plein champ	Gazon	Lég./ Fruits	Vergers	Forêts		
Confirmation de l'agent pathogène	I ou A	I ou A	N ou A	N ou A	N ou A	N ou A	N ou A	I ou A	I ou A
Évaluation de la maladie	D et G	D et G	G	G	G	G	G	D et G	G
Étape de croissance *	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Dates de traitement	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Phytotoxicité	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Rendement	✓	**	✓		✓	✓	✓	✓ sauf les plantes ornementales	
Qualité			RC		RC	RC		RC	RC

I - isolation de l'agent pathogène avant ou après le traitement
A - inoculation artificielle (nouvelle isolation non nécessaire)
N - inoculation naturelle, estimée d'après l'incidence de la maladie chez les plantes non traitées
D - décompte à la levée
G - gravité et incidence des symptômes de maladie
RC - rendement commercialisable, autres facteurs qualitatifs

* - étape de croissance de la plante au moment de l'application et de l'évaluation de la maladie
** - parfois requis, p. ex., pour le charbon